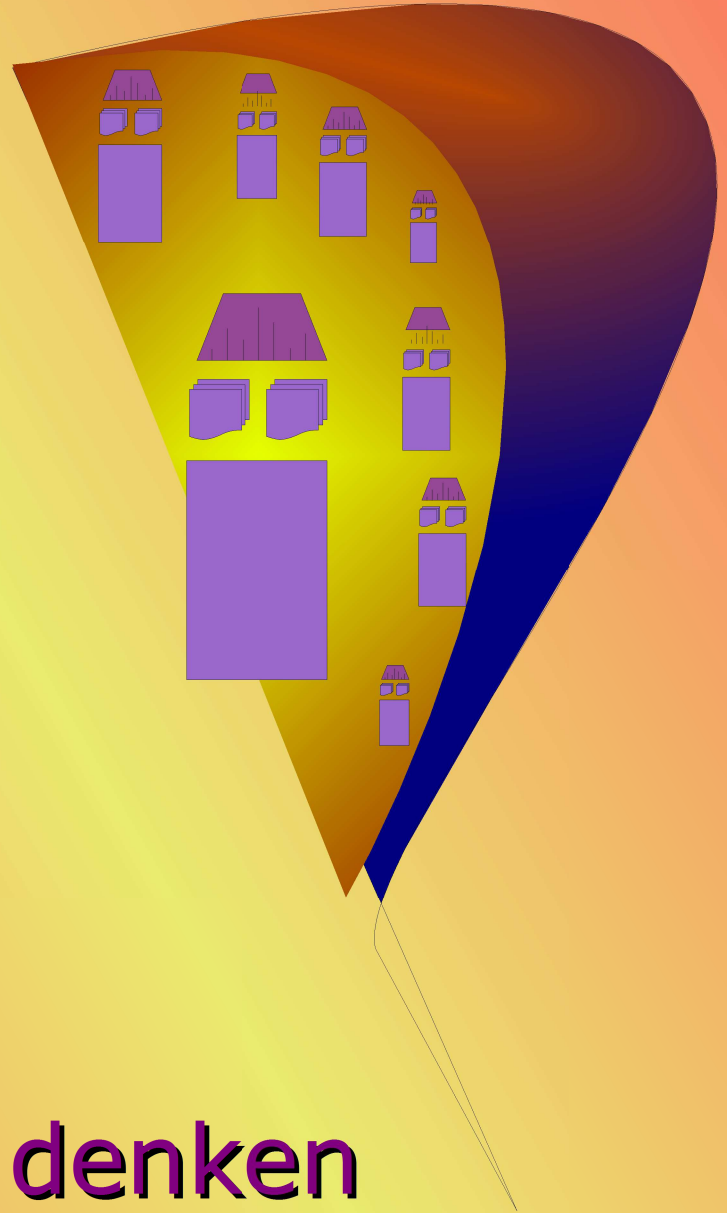


Eike Mühlenfeld



Lernen und denken
Sie auch so ?

Mensch und Automat

*Lernen und denken
Sie auch so ?*

Mensch und Automat

von

Eike Mühlenfeld



Inhalt

Deskriptoren	8
Dank	8
Einführung	9
1 Was man über das Denken denkt	11
1.1 Was man über Automaten denkt	11
1.2 Wie Denkwissenschaftler denken	13
1.3 Was man über das Lernen denkt	16
1.4 Was man von Logik hält	18
2 Erfahrungsbasiertes Schließen	24
2.1 Trainieren, Lernen aus Erfahrungen	24
2.2 Schlüsse der formalen Logik	27
2.3 Analogieschlüsse	32
2.4 Schlüsse der Prädikatenlogik	35
2.5 Logik und Grammatik	39
2.6 Logische Verknüpfung von Zahlen	43
3 Erfahrungsbasiertes Verhalten	44
3.1 Handlung und Wahrnehmung	44
3.2 Auge-Hand-Koordination	50
3.3 Probabilistisches Schließen	54
3.4 Begreifen und Erkennen	60
3.5 Beobachten und Lernen	63
3.6 Optimierung des Nutzens	69
3.7 Streiten und Lernen	74
3.8 Jetzt sind wir aber schlau!	78
4 Optimierung des Verhaltens	88
4.1 Unternehmerische Entscheidungen	88
4.2 Optimierung technischer Prozesse	90
4.3 Bewertung technischer Prozesse	95
5 Optimierung der Lebensqualität	99
5.1 Empfindungen	99
5.2 Bewertungen	101
5.3 Optimierungshorizont	103
5.4 Lebensqualität	106
6 Gefühle und Moral	110
6.1 Das Mitgefühl	110
6.2 Freundschaft und Liebe	112
6.3 Das Gewissen	114
6.4 Der Sinn des Lebens	120
6.5 Unser Lebenslauf	127
Der Autor	129
Struktur grundlegender Begriffe	129
Index weiterer Begriffe	130
Literatur	131
20 Abbildungen	

Deskriptoren

Assoziation, Automat, Agent, Schema,
Kognition, Wahrscheinlichkeit, Semantik, Analogie,
Denken, Logik, Grammatik, Intelligenz, Vorhersage,
Lernen, Vormachen, Erfahrung, Expertensystem,
Empfindung, Gefühl, Nutzen, Gewissen.

Dank

In dem Bestreben, diese technische Darstellung von Lern- und Denkprozessen Lesern aus sehr verschiedenen Wissensgebieten zugänglich zu machen, haben mich Freunde und Kollegen unterstützt. Dafür bedanke ich mich sehr herzlich. Besonders fruchtbare Anregungen verdanke ich Herrn Dipl.-Ing. Norbert Basler (Basler AG), Herrn Dr. Dirk Henze (Präsident Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik a. D.), Herrn Prof. Dr. Volker Krebs (Regelungstechnik Karlsruhe), Herrn Prof. Dr. Werner v.Seelen (Neuroinformatik Bochum) und Herrn Prof. Dr. Reiner Weichert (Verfahrenstechnik Clausthal). Sehr geholfen haben mir auch meine lieben Töchter Maren Kutzer und Dr. med. Silke Willigeroth (Neurologie, Psychiatrie und Psychotherapie). Danke!

Einführung

Unser Gehirn verfügt über viele hervorragende Fähigkeiten, mit denen es unser Verhalten an Veränderungen in unserem Lebensraum anpasst, um Lebensqualität und Überleben zu sichern. Automatisierungssysteme passen die Einstellungen technischer Prozesse an veränderliche Betriebsbedingungen an, um den zu erwartenden Nutzen laufend zu optimieren. Diese vergleichbaren Aufgaben erfordern ähnliche Fähigkeiten.

Der Mensch erwirbt diese Fähigkeiten, indem er das Verhalten von Eltern und anderen Experten, sowie deren verbale Belehrungen als Erfahrungen speichert. Diese Lernfähigkeit hat Automaten und technischen Steuerungssystemen bisher weitgehend gefehlt. Sie mussten im Zusammenwirken von Experten der Informationstechnik und der jeweiligen Anwendungstechnik aufgabenspezifisch programmiert werden. Auch die Bedienung von Automaten und Steuerungssystemen musste in einer exakt spezifizierten formalen Sprache erfolgen. Das überfordert Benutzer von Fahrkartenautomaten oft ebenso, wie Bediener von Produktionsanlagen.

In diesem Buch wird dargestellt, wie Trainierbare Automaten ohne jegliche Vorkenntnisse allein durch Beobachtung des Verhaltens von Experten lernen. Es wird geschildert, wie auf diese Weise logisches Denken, Sprechen und Verhalten erlernt wird. Diese Innovation ist erfolgreich an der Aufgabe erprobt worden, allein durch Hören von richtigen Sätzen und Satzteilen die Grammatik unserer natürlichen Sprache zu lernen. Diese Buch schildert ferner die festen Strategien, mit denen Trainierbare Automaten ihr Verhalten optimieren und an ihr Wirkungsfeld adaptieren.

Grundlegend ist das unbeaufsichtigte Lernen aus unmittelbaren Erlebnissen, das Erfahrungen vermittelt, die bereits kleine Kinder zu logischem Denken und grammatisch einwandfreiem Sprechen befähigen. Diese Lernmethode heißt **Training**, wenn sie gezielt eingesetzt wird. Quantitativ definierte Analogieschlüsse erweitern das für ein Individuum verfügbare Wissen über dessen Erfahrungen hinaus. Unter Berücksichtigung von Wahrscheinlichkeiten, Nutzen und Kosten optimieren wir unser Verhalten. Rechnermodule, Agenten genannt, sagen die erfahrungsgemäßen Auswirkungen unseres Verhaltens und die Reaktionen unserer Mitmenschen voraus, sodass wir uns optimal darauf einstellen können. Möglicherweise hat die Evolution solche Agenten in unserem Kopf mit dem Durchsetzungsvermögen eines Gewissens ausgestattet.

Die Lebensqualität wird durch Empfindungen bestimmt und in ähnlicher Weise optimiert, wie Kosten und Nutzen technischer Systeme. Wir Menschen unterscheiden uns von Tieren und von einander durch den Zeitraum, für den wir unser Verhalten vorausschauend optimieren, und durch die Menge von Artgenossen, die wir dabei einbeziehen. Die Weite dieses Optimierungshorizonts ist entscheidend für die

Zukunft des Individuums und seiner sozialen Gemeinschaft.

Das Verhalten von Trainierbaren Automaten und dessen Ähnlichkeit mit menschlichem Denken wird in diesem Buch nicht zuletzt für Leser beschrieben, die mit Erfahrungen aus anderen Wissensgebieten um Verständnis der mentalen Fähigkeiten unseres Gehirns bemüht sind. Viele scheuen den Zugang zu technischen Wissenschaften, weil er ihnen durch einen Drahtverhau von Fachausdrücken, Mathematik und anderen geheimnisvollen Formalismen blockiert scheint. Es soll versucht werden, diese Leser an die Hand zu nehmen und die Dinge für sie möglichst ohne Formeln verständlich zu machen.

Clausthal-Zellerfeld im April 2013

1 } *Was man über das Denken denkt* *Mentale Fähigkeiten*

Ausgangspunkt der folgenden Darlegungen ist die kühne These, in unserm edlen Kopf seien Automaten tätig, die ihr Wissen aus eigenen Erfahrungen gewinnen und laufend an Veränderungen in ihrem Wirkungsfeld adaptieren: *Trainierbare Automaten*, abgekürzt TA. Danach schaltet und waltet in unserem Gehirn also nicht nur ein einzelner Automat, sondern viele Exemplare dieser ominösen Spezies wirken effektiv zusammen.

Gewissenlose Automaten, in denen keine Seele wohnt, sollen also lernen, denken und wohl gar auch noch fühlen!? Dieses intellektuelle Gehabe soll dann mit unserem umsichtigen und selbstlosen Verhalten verglichen werden! Automaten sind aus Blech und verkaufen uns, wenn sie nicht zu dumm dazu und uns gnädig gesonnen sind, Fahrkarten und Parkscheine. Und eine ganze Truppe von Automaten soll unser Gehirn zu einem bürokratischen Apparat machen!? Die Heerscharen von Automaten in den Spielhöhlen von Las Vegas nennt man einarmige Banditen. Noch schlimmer sind Automaten in der Technik, weil sie unsere Arbeitsplätze wegrationalisieren.

1.1 *Was man über Automaten denkt* *Der Automat, unser Freund und Helfer*

Menschen und Automaten haben oft ein gestörtes Verhältnis zu einander, sodass sie nicht immer gut mit einander auskommen. Automaten verstehen oft einfach nicht, was wir von ihnen wollen. Sie gelten als stur und scheinen ganz anders zu denken, als wir. Wäre das wirklich so, hätte es keinen Sinn, Menschen und Automaten einander gegenüber zu stellen und ihre Denkfähigkeiten zu vergleichen. Daher gilt es zunächst, Automaten gegen diese pauschalen Vorurteile in Schutz zu nehmen, damit wir uns mit ihnen ein wenig anfreunden können.

Natürlich gibt es ausgesprochen dumme Automaten.

Die klassische Mausefalle zum Beispiel schnappt gern unseren Finger, wenn wir aus Versehen den Auslöser berühren. Eine pfiffige Maus hingegen holt sich immer wieder ungestraft den Speck aus der Falle.

Wer seinen Rechner unter WindowsXP abschalten möchte, muss auf seinem Bildschirm zunächst die Taste *Start* drücken und dadurch die Alternativen aufrufen, die durch diese Taste erreichbar sind. Darunter findet er dann die Alternative *ausschalten*. Sehr sinnig!

In diesem Buch werden neue Automaten beschrieben, denen man eine gewisse Intelligenz nicht absprechen kann. Sie lernen, mit neuen Situationen umzugehen, indem sie selbständig Erfahrungen sammeln, und sie entscheiden sich jeweils für das Verhalten, das erfahrungsgemäß den größten Nutzen erwarten lässt. Diesen adaptiven Automaten wollen wir in den folgenden Kapiteln näher treten und ihr Verhalten studieren.

Automaten sind vor allem deshalb in Verruf geraten, weil ihr Benutzer mehr von ihnen verlangt, als sie können. Sie sollen auf Anhieb Aufgaben lösen, die auch ein intelligenter Mensch erst nach etlichen vergeblichen Versuchen zum Erfolg führen kann. Automaten haben es oft nicht leicht!

Solange es Kursbücher gab, galt es als eine zeitraubende sophistische Kunst, ihnen die günstigste Bahnverbindung zur gewünschten Zeit zum gewünschten Ziel zu entnehmen. Heute ärgern wir uns, wenn ein Fahrkartenautomat von uns verlangt, in der richtigen Reihenfolge durch Knopfdruck jeweils die richtige Alternative auszuwählen.

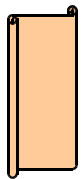
Die Vielfalt der anzubietenden Alternativen schafft oft qualitative Probleme. Für den Programmierer der Mensch-Maschine-Kommunikation von Rechnern, Handys und anderen Automaten ist es oft schwer genug, die wählbaren Alternativen eindeutig zu bezeichnen und in einer Liste oder durch Bildchen auf dem Bedien-Bildschirm darzustellen. Nur selten wird der Programmierer für eine Alternative die gleiche Bezeichnung wählen, wie später der Benutzer. Daher wäre eine alphabetische Reihenfolge selten hilfreich. Weil der Benutzer lange Listen nicht übersehen kann, muss der Programmierer die Alternativen hierarchisch in Gruppen gliedern und zur Wahl stellen. Dazu muss er Bezeichnungen finden, die alle Elemente jeder Gruppe vollständig umfassen und eindeutig spezifizieren. Das ist nicht ganz einfach, wie jeder weiß, der einmal Briefe und andere Geschäftsvorgänge in Ordern und Unterordnern nach geeigneten Gesichtspunkten ablegen oder darin suchen musste. Generationen von Forschern haben sich bemüht, die Flora hierarchisch so zu strukturieren, dass sich Art, Familie und Typ einer Pflanze bestimmen lässt. Aufgaben, Systeme und Probleme sinnfällig zu strukturieren, ist stets der erste Schritt zu ihrer Beherrschung.

Wer früher mit der Eisenbahn fahren wollte, verlangte am Schalter eine Fahrkarte 2. Klasse von Göttingen nach Karlsruhe und zahlte pro Kilometer 8 Pfennig, eventuell mit 2 DM Schnellzugzuschlag. Heute gibt es viele Tarifzonen, Sondertarife und Zahlungsmöglichkeiten.

Die Vielfalt der bei gegebener Situation und Aufgabe entscheidungsrelevanten Erfahrungen und Verhaltensalternativen schafft natürlich auch quantitative Probleme, die technische Systeme durch viele parallel arbeitende Automaten beherrschen. Viele derartige Agenten arbeiten und kooperieren vielleicht auch in unserem Kopf.

1.2 *Wie Denkwissenschaftler denken* *Wissenschaftliche Erkenntnisse*

Die Automaten der Informationstechnik sind weitgehend selbständig arbeitende Rechnerprogramme. Ein solches Modul kann auf einer eigenen Elektronik implementiert sein oder in einem Rechner mit vielen anderen Modulen zusammenarbeiten.



Die Information am Ausgang eines **Automaten** ist eine wohldefinierte Funktion der Information an ihrem Eingang und hängt außerdem von einem internen Zustand des Automaten ab. Wie sich der Zustand des Automaten ändert, ist ebenfalls wohldefiniert.

Mit dieser Theorie lässt sich das Verhalten komplexer digitaler Rechnerstrukturen beschreiben und berechnen. Die **Automatisierungstechnik** erfasst Veränderungen der Betriebsbedingungen, um die Einstellung technischer Prozesse möglichst schnell und optimal daran anzupassen. Denkprozesse in unserem Gehirn tun grundsätzlich nichts anderes, wobei die Betriebsbedingungen durch den Zustand unseres Körpers und des ganzen Umfeldes bestimmt werden, in dem wir möglichst gut überleben wollen. Automaten ordnen Informationen einander zu, die Handlungen, Wahrnehmungen, Wahrscheinlichkeiten und Empfindungen beschreiben.

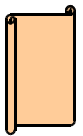
„Erkenne Dich selbst“ liest der aufmerksame Wanderer an einer Säule des Apollontempels in Delphi. Die alten Griechen sahen darin vor allem das Gebot, ihre sittlichen Defizite zu erkennen und sich um vollendete Tugend zu bemühen. Griechische **Philosophen** interessierte aber schon damals nicht nur die Ethik des Denkens und Handelns. Es ging um das ganze Wesen des strebsamen Menschen zwischen den trieb-gesteuerten Tieren und den Ränke schmiedenden, weder an ethische Normen noch an physikalische Gesetze gebundenen Göttern. Kant machte deutlich, dass Philosophie letztlich nichts anderes als Selbsterkenntnis sein kann. Dem zu erkennenden Innenleben ist, wie später Schopenhauer schreibt, „stets die größte Aufmerksamkeit zu widmen, weil es unser Handeln im Ganzen und Wesentlichen bestimmt.“ⁱ

Diesen Imperativ mögen Philosophen als intellektuelle Richtschnur akzeptieren. Nüchterne Pragmatiker hingegen haben mit Philosophie oft nichts am Hut. Warum auch sollten die sich als Philosoph betätigen und die Funktionen des menschlichen Geistes zu verstehen suchen? Zur Beantwortung dieser Frage genüge vorerst der Hinweis auf das pragmatische Bestreben jedes Menschen, unser eigenes Verhalten und das unserer Mitmenschen möglichst optimal zu lenken: als Chef, Mitarbeiter,

Lehrer oder Verhandlungspartner. In diesem Bestreben trifft die erfolgreicheren Entscheidungen, wer das vom Gehirn gesteuerte eigene und fremde Verhalten möglichst zuverlässig vorhersagen kann. Dabei soll das im folgenden als **Trainierbarer Automat (TA)** beschriebene Funktionsmodell helfen. Es beschreibt nicht, wie Denkprozesse zwischen den Neuronen des Gehirns im Detail ablaufen. Es ist vielmehr ein in nachvollziehbarer Weise beschriebenes Modell, das sich in wesentlichen Aspekten sehr ähnlich verhält, wie das menschliche Gehirn.

Ganz nebenbei kann der mit dem Verständnis dieses Funktionsmodells verbundene Erkenntnisgewinn all jenen innere Befriedigung verschaffen, für die strebendes Bemühen um Erkenntnis nach Kapitel 5.4 die Lebensqualität steigert.

Ein hinreichend umfassendes Modell unseres Gehirns ist zwangsläufig sehr kompliziert. Dennoch wird oft versucht, die Funktionsweise unseres Gehirns rein phänomenologisch im Plauderton zu beschreiben. Aus solchen Erzählungen ließe sich jedoch kein praktisch nutzbares Vorgehen zur Optimierung menschlichen Lernens und Verhaltens ableiten.



Jede nachvollziehbare Spezifikation eines Gehirnsmodells oder eines anderen komplexen Systems, bedarf der Erkennung von Gesetzmäßigkeiten durch geeignete Denkweisen und deren Beschreibung durch theoretische Hilfsmittel.

Die Beschreibung einer Planetenbahn musste in komplizierter Weise aus vielen Elementen zusammengesetzt werden, bis Kepler erkannte: „Der Radiusvektor überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.“ Damit war die Planetenbahn auf den Impulssatz zurückgeführt.

Neurowissenschaften und **Psychologie** haben wichtige Erkenntnisse über das Zentralnervensystem, dessen Struktur und das Zusammenwirken seiner Teilsysteme erarbeitet. Dadurch werden einige Funktionen unseres Gehirns und viele Funktionsstörungen verständlich. Manche krankhafte Veränderung wird heilbar. Seit Piagetⁱⁱ das Lernverhalten von Kindern untersucht und festgestellt hat, dass es sich in altersbedingte Phasen gliedert, wurde die Weitergabe von Wissen effizienter an die jeweilige Aufnahmefähigkeit der Kinder angepasst. Diese Beispiele zeigen, dass wissenschaftliche Analysen nicht nur sterile Erkenntnisse über uns selbst, sondern oft auch praktischen Nutzen schaffen. Ein umfassendes Verständnis für die Funktionen des Gehirns wird aber noch lange ein Fernziel bleiben. Immerhin gibt es theoretische und funktionale Modelleⁱⁱⁱ, die einzelne Fähigkeiten erklären, mit denen unser Gehirn durch geschickte Steuerung unser Verhalten immer wieder neu optimiert. Die Verschaltung von Neuronen zu Neuronalen Netzen^{iv} wird bereits technisch genutzt.

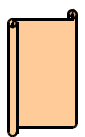
Die analytische Vorgehensweise der **Naturwissenschaften** will herausfinden, wie im Gehirn dessen erstaunliche Fähigkeiten realisiert sind. Das ist noch wesentlich schwieriger, als der Versuch, einen modernen Digitalrechner ohne jede Kenntnis seiner Funktionsweise zu analysieren. Dort gibt es wenigstens klare Schnittstellen

zwischen Bauteilen, an denen sich der Fluss der Datenbits verfolgen lässt. Aktivitäten innerhalb der integrierten Schaltkreise lassen sich mit Wärmebildkameras ebenso lokalisieren, wie Gehirnaktivitäten tomographisch sichtbar zu machen sind. Dennoch ist es kaum möglich, daraus auf die Art der Daten und deren Verknüpfung zu schließen: Auf die Hardware, also die Verschaltung der elektronischen Bauelemente, die Firmware, also die rechner-spezifischen Algorithmen¹ zur Ausführung elementarer Befehle, und die Software, also das Betriebssystem und die Anwender-Programme.

In dem Bemühen um **Künstliche Intelligenz** sind sehr intelligente, technisch nutzbare Systeme entstanden^v. In einigen Funktionen sind sie mit unserem Gehirn vergleichbar^{vi}. In anderen Systemen ergänzen sich technische und neuronale Strukturen^{vii}.

Die **Ingenieurwissenschaften** sind bestrebt, durch Synthese von Hardware- und Softwaremodulen in Rechnern, Automaten und Robotern Fähigkeiten zu installieren, die der Markt und die Unternehmensleitung fordern. Diese Arbeit basiert auf mathematischen Beschreibungen und technischen Modellen von Komponenten und Systemen. Dabei wird von Hypothesen über geeignete Strukturen und Komponenten ausgegangen, deren Parameter anschließend zielgerichtet verändert werden, um die vorgegebenen Fähigkeiten qualitativ und quantitativ zu erreichen. Wenn das nicht gelingt, müssen Strukturen verändert oder völlig verworfen werden. Das ist ähnlich brutal, wie die Selektion der Evolution, und auch nicht völlig schmerzlos, denn das kostet Geld.

Die **Automatisierungstechnik** hat technische Komponenten und Systeme geschaffen, die in Industrie, Handel und Verkehr ganz ähnliche Funktionen erfüllen, wie unser Gehirn im täglichen Leben:



Das Gehirn muss, genau wie ein technisches Automatisierungssystem, in einem Wirkungsfeld, das sich fortwährend verändert, die aktuelle Situation erkennen und unser Verhalten möglichst optimal daran anpassen.

Erkennen heißt stets: wiedererkennen. Es lässt sich nur erkennen, was man bereits erfahren hat. Wer sich noch nie wörtlich oder im übertragenen Sinne die Finger verbrannt hat, muss das jedoch nicht unbedingt persönlich erleben. Es genügt, wenn ihm ein wohlgesinnter Mensch, dessen Lebenserfahrung und Wohlwollen er zu vertrauen gelernt hat, davon abrät. Junge Menschen folgen dem Rat älterer in wegweisenden Entscheidungen allerdings nur ungern. Denn in einer Welt, die sich rasch ändert, veralten Erfahrungen schnell und behalten nicht für alle Zukunft Wert und Gültigkeit. Andererseits hat nur die Weitergabe des jeweils geschaffenen Wissens von Generation zu Generation die Entstehung von Hochkulturen ermöglicht. Es gilt also, auch das Vergessen zu optimieren.

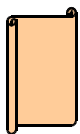
Ziel dieses Buches ist ein besseres **Verständnis einiger mentaler Fähigkeiten**, die

¹ Folgen von Regeln und Befehlen

uns Menschen das Erkennen der jeweiligen Situation und eine daran angepasste Steuerung unseres Handelns ermöglichen. Im Tunnelbau ist es üblich, ein Ziel aus zwei möglichst auf gleicher Linie entgegengesetzten Richtungen anzustreben. In analoger Weise bemüht sich dieses Buch, den Bestrebungen der Naturwissenschaften von der Seite der Automatisierungstechnik entgegen zu arbeiten. Diese Analogie zur Montantechnik sagt natürlich nichts aus über den Nutzen dieser Vorgehensweise im Hinblick auf das gesetzte Ziel. Doch gewiss sind neue Perspektiven zu erwarten, wenn man sich einem Ziel von einer ganz anderen Seite nähert.

1.3 *Was man über das Lernen denkt* *Lernen aus Erfahrungen*

Babys greifen von Versuch zu Versuch immer gezielter nach Objekten und führen sie zum Mund. Ohne den Formalismus einer Grammatik lernen bereits Kleinkinder, zu sprechen, wenn ihre Eltern sich häufig genug mit ihnen unterhalten. Die Fähigkeit zu selbständigem Lernen ist grundlegend und unverzichtbar:



Kinder **lernen** ohne Unterricht, allein durch Erfahrungen aus eigenen Versuchen oder dem Verhalten von Vorbildern komplizierte Verhaltensweisen und grammatisch einwandfreie Sprache.

Dazu hat sind in der Linguistik mehrere Theorien entstanden, die in dem nachfolgend zitierten Lexikon² zusammengefasst sind. Dort wird vorab ehrlich gesagt: „Bis zum heutigen Stand der Forschung gibt es keine allgemeingültige Spracherwerbstheorie.“

Nativismus, wichtigster Vertreter: Noam Chomsky. Der Nativismus geht davon aus, dass Sprache sich aus angeborenen sprachlichen Kategorien entwickelt d.h. jeder Mensch bringt eine genetische Ausstattung zum Spracherwerb mit. Aus einer Chomsky-Grammatik lassen sich zwar alle Grammatiken formaler Sprachen ableiten, für natürliche Sprachen hat sich der Nativismus jedoch nicht bewährt.

Behaviorismus, wichtigster Vertreter: Burrhus Frederic Skinner. Skinner bestreitet angeborene Denk- und Verhaltensschemata; nach ihm ist nur der universale Lernmechanismus vererbt. So funktioniert Spracherwerb durch operante Konditionierung. Kinder lernen Sprache durch die Imitation Erwachsener welche die Nachahmung belohnen und somit verstärken. Spracherwerb ist folglich erlernte Reaktion auf äußere Reize/Faktoren (Stimulus-Response durch Lob verstärkt).

Kognitivismus, wichtigster Vertreter: Jean Piaget. Kognitivismus versucht die Entwicklung der Intelligenz zu beschreiben. Der Kognitivismus versteht Spracherwerb als eine besondere Art des geistigen Lernens. Piaget ist der Meinung dass Sprache ein Teil der Gesamtentwicklung beim Kind ist (wie Denken Handeln

² www.uni-protokolle.de/Lexikon/Spracherwerb.html. 27.Mai.2012.

Urteilen etc.) der sich nicht isoliert für sich betrachten lasse sondern immer in Auseinandersetzung mit der Welt und mit dem Weltbild des Kindes gesehen werden müsse. Dabei geht das Denken der Sprache voraus. Die Kognition kann im symbolischen Gefüge der Sprache Ausdruck finden.

Interaktionismus, wichtigster Vertreter: Catherine Snow Gripper. Spracherwerb wird laut dieser Theorie stark auf die Interaktion zwischen Eltern und Kind begründet.

Trainierbare Automaten kombinieren in diesem Buch die drei letztgenannten Theorien und konkretisieren sie auf der Basis von Automatentheorie, kognitiven Wahrscheinlichkeiten und Optimierungsverfahren in einem programmiertechnisch realisierten Modellsystem, das sich beim Spracherwerb nachweislich ähnlich verhält, wie ein Kind.

Trainierbare Automaten (TA) lernen selbstständig aus Beispielen, die ihnen vorgeführt werden. Sie nehmen also Beispiele natürlicher Sprache und menschlicher Verhaltensweisen auf und setzen diese ohne Regieanweisungen in Erfahrungen um, die sie selbstständig in eine logische Schemastruktur bringen und speichern. Das geschieht zum Erlernen einer grammatisch einwandfreien Sprache, der Auge-Hand-Koordination und vieler anderen Verhaltensweisen nach den gleichen Gesetzen. Diese Gesetze sind dem unveränderlichen **Betriebssystem** des Automaten zuzurechnen und werden zum großen Teil in den Paragraphen des Kapitel 2 verbal formuliert. Mit den gewonnenen Erfahrungen kann der Trainierbare Automat (TA) selbstständig arbeiten. Einem Kind ähnlich, verhält er sich dabei so, wie er das in ähnlichen Situationen und Fällen gelernt hat.

Mit Suchmaschinen im Internet kann man leicht umgehen, weil es genügt, Stichworte einzugeben. Im allgemeinen müssen Experten in jeden Universalrechner das zur Lösung von Aufgaben erforderliche Wissen heute noch exakt formatiert eingeben. Das gilt auch für Fallbasierte Systeme und Expertensysteme der Künstlichen Intelligenz. In viele Systeme muss auch ein Benutzer, ob er des Programmierens kundig ist oder nicht, in einer genau festgelegten Sprache spezifizieren, welche Aufgabe er gelöst haben möchte. Eine **Sprache** kann darin bestehen, dass bestimmte Knöpfe in bestimmter Reihenfolge zu drücken sind.

Den damit verbundenen Ärger kennt jeder, der schon einmal mit einem Fahrkartenautomaten gekämpft hat, während sein Zug zur Abfahrt bereit am Bahnsteig stand.

1.4 *Was man von Logik hält* *Logik, Vorhersage und Planung*

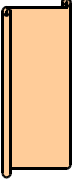
Jedes Tier ist in der Lage, mit seinen Sinnesorganen die Welt zu erleben und in ähnlichen Situationen angeborene oder erlernte Verhaltensweisen zu reproduzieren. Natürlich kann das auch ein Mensch. Automaten dürfte das ebenfalls nicht schwer fallen, wenn man sie mit effektiven Sinnesorganen ausstattet. Als fundamental ist die Fähigkeit des Menschen anzusehen, logisch zu denken und zu formulieren. Ein Kind erwirbt diese Fähigkeit weitgehend spielend, indem es seine aktiven und verbalen Erlebnisse in seinem Gehirn sinnvoll in Schemata strukturiert.

Wir alle können denken und werden dabei von der schönen Überzeugung getragen, kristallklar logisch denken und formulieren zu können. Dabei ist oft nicht so kristallklar, wie diese fundamentale Fähigkeit zu definieren ist. Wir können aber nicht über eine Fähigkeit des Menschen reden und sie mit der wohldefinierten Logik eines Automaten vergleichen, wenn diese Fähigkeit nicht klar beschrieben ist. Das wird nicht gerade dadurch erleichtert, dass fast jeder Philosoph eine eigene Logikvariante in seiner Fachsprache definiert und benutzt. Philosophen von Sokrates über Aristoteles bis Heidegger haben durchaus verschieden gedacht, haben die Prinzipien ihres Denkens formuliert und damit jeweils eine spezielle Logik definiert. Juristen, Mathematiker und Informatiker haben wiederum ihre eigene Logik in etlichen Varianten. Weil wir keine Philosophen sind, wollen wir davon ausgehen, wie ein gebildeter Mensch logisches Denken und Formulieren umgangssprachlich beschreiben würde.

Leider bemühen wir uns nur selten um logische Formulierungen. Im Gespräch geben wir uns oft nicht die erforderliche Mühe oder möchten unsere Absichten nicht allzu klar offenbaren, um niemandem auf den Schlipps zu treten. Ein Politiker möchte die Leser oder Zuhörer, die sich der vorgetragenen Meinung und Zielsetzung nicht anschließen können, möglichst nicht als Wähler verlieren. Und so lassen wir gern ein wenig Interpretationsspielraum in unseren Formulierungen. Moderne Dichtung erschließt sich selten einer logischen Interpretation durch den Geist und setzt vielmehr auf eine intuitive Interpretation durch das Gefühl. Viele Künstler und sogar Philosophen, wie Nietzsche, lehnen Logik generell ab.

Die Denkweise von anwendungsorientierten Ingenieuren, die dieses Buch trägt, basiert auf einer Logik, die sich von der Logik der Geisteswissenschaften ebenso unterscheidet, wie von der Logik alltäglicher Kommunikation. Natürlich erschwert es auch einem geneigten Leser den Zugang zu diesem Buch, wenn er sich dazu eine andere Denkweise aneignen muss. Nur so aber lassen sich neue Wege und Strukturen finden.

Obwohl sie später gelockert werden muss, werde zunächst von der Hypothese ausgegangen, dass eine Aussage nur wahr oder falsch sein kann, *tertium non datur*. Darauf beruht die formale, zweiwertige **Aussagenlogik**. Wer nicht missverstanden werden will, muss Klartext reden:

 **Aussagen** sind so formulieren, dass zweifelsfrei feststellbar ist, ob eine Aussage in einer bestimmten Situation die Realität richtig beschreibt, ob sie also **wahr** oder **falsch** ist. Weisungen sollen festlegen, was in welcher Reihenfolge zu tun ist.

Die Aussage „*Hund bellt*“ ist akustisch zweifelsfrei überprüfbar.

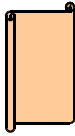
Juristische Gesetze sollen einen Sachverhalt präzise durch eine Verknüpfung von Aussagen definieren, die daraufhin zu überprüfen sind, ob sie wahr oder falsch sind. Daraus muss zweifelsfrei zu schließen sein, ob der ganze Tatbestand im aktuellen Fall wahr ist oder falsch. Oft lässt sich ein Tatbestand nur durch sehr viele Aussagen präzise eingrenzen, was zu immer umfangreicheren Gesetzen führt. Dennoch findet sich mit krimineller Energie, z.B. im Steuerrecht, immer wieder ein Schlupfloch.

Gesetze können kurz und bündig sein: *Auf Eingehen der Ehe kann nicht geklagt werden.*

Auch für Bedienungsanleitungen ist Klarheit unverzichtbar. In zeitkritischen Situationen müssen Weisungen nach genauen Regeln einer eingeschränkten Grammatik formuliert werden. Daher gibt es für militärische Aufgaben, für Notfälle und klinische Operationen wohldefinierte Befehle und Meldungen.

Das Gegenteil einer Aussage ist deren Verneinung: „**NICHT** *Hund bellt*“.

Das Wort *Logik* ist von dem griechischen Wort λογειν für *sprechen* abgeleitet. Eine formale Logik definiert die Grammatik einer Sprache, mit der sich Sachverhalte und Denkprozesse so exakt ausdrücken lassen, dass es jeweils nur genau eine Interpretationsmöglichkeit gibt. Wegen dieser Zielsetzung wirken logische Formulierungen oft umständlich und hölzern. Das erklärt auch die verbreitete Aversion gebildeter Menschen gegen die Logik der Mathematik. Auch Gebrauchsanweisungen und Gesetze lesen sich nicht wie ein Roman. In natürlichen Sprachen formulierte Aussagen sind eleganter, lassen dem Leser aber Freiheit zu individueller Interpretation, wobei diese Freiheit sich nicht immer zielführend nutzen lässt.

 Logisches Denken schließt aus einigen erfahrungsgemäß richtigen Aussagen nach **Regeln** auf die Richtigkeit anderer Aussagen, auch wenn diese sich nicht durch unmittelbare Wahrnehmungen und Erlebnisse verifizieren lassen.

WENN *Hund bellt* DANN *Hund will angreifen*.

Dem „WENN“ folgt die Bedingung dafür, dass die Folgerung nach „DANN“ wahr ist. Weil Regeln auf persönlichen Erfahrungen beruhen, sind sie keine universellen Gesetze. Die gleiche Person kann auch eine ganz andere Erfahrung gemacht haben,

beispielsweise:

WENN *Hund bellt* DANN *Hund macht auf sich aufmerksam*.

Solche Regeln sind also nicht Bestandteil der Logik. Sie beruhen beim Menschen auf Erfahrungen, die von den eigenen Sinnesorganen geliefert oder von Eltern, Lehrern und anderen **Experten** verbal übermittelt worden sind. Regeln sind also Teil einer individuellen, aufgabenspezifischen Wissensbasis.

Formale Gesetze erlauben vielfältige Verknüpfungen von Aussagen. Im einfachsten Fall:

WENN *Hund bellt* UND *Hund wedelt mit Schwanz* DANN *Hund will spielen*.

Aussagen die UND-verknüpft sind, müssen sämtlich wahr sein, damit die gesamte Aussage wahr ist. Regeln können Bedingungen Folgerungen zuordnen, die Aktionen beschreiben:

WENN *Hund will angreifen* UND *Hund ist groß* DANN *weglaufen*.

In den Kapiteln 2 und 3 wird beschrieben, wie Regeln erlernt werden. Häufig erfüllt die Realität die Bedingungen mehrerer Regeln in der individuellen Wissensbasis. In Kapitel 3 und 4 wird untersucht, nach welcher dieser Regeln sich der Mensch richten soll, um sich optimal zu verhalten.

Wer sich nicht überzeugen lässt, hat im allgemeinen keinen Mangel an Vernunft, sondern verfügt über andere Erfahrungen. Daher muss ein Redner darlegen, welche Erfahrungen seine Schlussfolgerungen logisch verknüpfen, damit die Gesprächspartner die Tragfähigkeit dieser Erfahrungen prüfen können. Regeln werden erst dann als allgemeingültige naturwissenschaftliche Gesetze angesehen, wenn sie durch viele Erfahrungen ausnahmslos bestätigt worden sind.

Um beim **Lernen** Erfahrungen zu verbaler Logik und zur Grammatik natürlicher Sprache zu gewinnen, übernimmt der TA die Kette der Worte einer von irgend jemandem über Tastatur eingegebenen Aussage oder Frage und erfasst die Reaktion oder die Antwort, die ein erfahrener Mensch als Experte daraufhin über Tastatur eingibt.

Für eine Kette aus mechanischen Gliedern gilt die logische Regel:

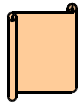
WENN Glied 1 hält UND Glied 2 hält.... UND Glied n hält, DANN hält die ganze Kette.

Für eine Kette aus Worten gilt die Regel:

WENN Wort 1 wahr UND Wort 2 wahr.... UND Wort n wahr, DANN ist die ganze Kette wahr.

Die Glieder eine Kette sind also stets durch das logische **UND** verknüpft, was im folgenden nicht mehr explizit vermerkt werden wird. Alternativen sind durch **ODER** verknüpft.

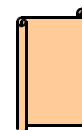
Beispiel einer logischen Regel 'WENN {sehe Löwe ODER sehe Tiger}, DANN fliehe'.



Formale Logik und die darauf gründende **Grammatik** werden in Kapitel 2 selbständig erlernt.

Logik und Grammatik werden sich als weitgehend äquivalent erweisen. Daher wird zu diskutieren sein, in welchem Umfang junge Menschen Sprachen erlernen sollten, um ihr logisches Denken zu schulen.

Im folgenden Kapitel wird sich zeigen, dass der Trainierbare Automat TA logische und grammatische Regeln nicht für sämtliche Objekte lernen muss, für die solche Regeln gelten.



Analogieschlüsse beruhen auf **statistischen Relationen** zwischen Regeln: Wenn ein Teil der ODER-Bedingungen zweier Regeln für beide Regeln gilt, so gelten wahrscheinlich sämtliche ODER-Bedingungen für beide Regeln.

Zwei Erfahrungen seien erlernt worden:

- 1) WENN das Objekt {Fritz ODER Otto ODER Karl} ist, DANN ist es dumm;
- 2) WENN das Objekt {Otto ODER Karl ODER Rudi} ist, DANN ist es faul.

Also sind in den verfügbaren Stichproben zwei Drittel, also 66% der Dummen auch faul.

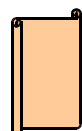
Analogieschluss: WENN das Objekt Fritz ist DANN ist es faul [$p = 66\%$].

Fritz wird demnach mit der Wahrscheinlichkeit $p = 66\%$ für dumm und faul gehalten.

Für eine solche Schlussfolgerung sollte die Stichprobe allerdings viel größer sein.

Durch Analogieschlüsse gewonnene Aussagen sind stets nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit p richtig. Doch jedes Wissen über die reale Welt ist mehr oder weniger unsicher. Wahrscheinlichkeiten werden uns daher von jetzt an stets begleiten. Die in der Automatisierungstechnik eingesetzte Fuzzy Logik berücksichtigt Ungewissheiten in ähnlicher Weise.

Zu den aktuellen Erlebnissen in einer aktuellen Situation finden sich im Gedächtnis oft mehrere Erfahrungen mit teilweise ähnlichen Erlebnissen. Mensch und Automat machen sich vorausschauend bewusst, wohin die möglichen Verhaltens-Alternativen erfahrungsgemäß führen. Erst nach Bewertung dieser Vorhersagen lässt sich die beste Erfahrung auswählen und anwenden.



Zur **Planung** optimalen Verhaltens machen sich Mensch und Automat die Folgen möglicher Verhaltens-alternativen durch erfahrungsbasierte **Vorhersage** vorausschauend bewusst.

Die formale Regel 'WENN ich sehe Löwe, DANN fliehe ich' ist wenig nachhaltig für jemanden, dem der Löwe in offener Savanne begegnet, denn der Löwe kommt voraussichtlich hinterher und ist schneller. Daher sollte man sein Verhalten durch andere Erfahrungen und Assoziationen steuern lassen, die unter ähnlichen Bedingungen eine größere Überlebenswahrscheinlichkeit erwarten lassen. Deren Erfolgsaussichten sind im konkreten Fall unter den Gegebenheiten des Umfeldes umsichtig zu prüfen.

Es wird zu deuten sein, welche Empfindungen ein Erlebnis begleiten, und wie uns oder einem TA die Gefahr bewusst wird.

Digitale Informationsverarbeitungssysteme, in schamhafter Untertreibung *Rechner* genannt, können mit geeigneten Programmen logische Schlüsse verschiedenster Art vollziehen. Ergänzt durch andere theoretische Werkzeuge von Informatik, Mathematik, Nachrichtentechnik und Statistik lassen sich auf Rechnern Schlussweisen vieler Arten von Logik programmieren. Das legt den Schluss nahe, dass die elementare Logik, auf der die Funktionsweise von Rechnern und des TA basiert, auch Grundlage menschlicher Logik und seiner Varianten ist. Zwingend ist dieser Schluss allerdings nur für alle Arten der Logik, deren Denkweise nachweislich vollständig von digitalen Rechnern nachvollzogen werden kann. Der Nachweis, dass Rechner weitgehend menschlich denken, ist mehr oder weniger zwingend gelungen.

In einem dieser Experimente kommunizierte ein Wissenschaftler über Tastatur und Bildschirm mit einem anderen Menschen oder mit einem Rechner, ohne zu wissen, wer momentan sein Gesprächspartner war. Dem Rechner waren die verfügbaren logischen Fähigkeiten einprogrammiert worden. Bei Beschränkung auf ein begrenztes Wissensgebiet konnte dieser Wissenschaftler sehr selten feststellen, ob er sich mit einem anderen Menschen oder mit einem Rechner unterhielt.

Aussagen über kontinuierliche Größen lassen sich ebenfalls so formulieren, dass sie nur wahr oder falsch sein können:

WENN *Kesseltemperatur kleiner 67°C* DANN *Kessel zu kalt*.

WENN NICHT *Kesseltemperatur kleiner 72°C* DANN *Kessel zu heiß*.

WENN *Kessel voll* UND *Kesseltemperatur kleiner 72°C* UND NICHT *Kessel zu kalt* DANN *Kessel bereit*.

WENN *Kessel bereit* DANN *Rührwerk ein*.

Sind Aussagen oder Bedingungen ODER-verknüpft, so muss nur wenigstens eine von ihnen wahr sein:

WENN *Kesseltemperatur größer 72°C* ODER *Kessel leer* DANN *Heizung aus*:

Was sollen wir tun, WENN *Hund bellt* ? Mit vielen Erfahrungen über das Verhalten von Hunden meinen wir, zu wissen, in 30% der Fälle will ein bellender Hund angreifen, in 70% will er nur auf sich aufmerksam machen. Die Wahrscheinlichkeit, dass es ratsam ist, wegzulaufen, ist also in einer gegebenen Situation 30%. Wenn wir weglaufen, würden wir unser Gesicht verlieren. Wenn wir nicht weglaufen, werden wir vielleicht gebissen, wonach wir auch nicht besser aussehen. Also müssen wir außer Wahrscheinlichkeiten auch Nutzen und Kosten (Schaden) in unsere Entscheidung einbeziehen. Aus Erfahrung wissen wir ferner, dass die akustische Wahrnehmung *Hund bellt* je nach Stimmung des Hundes sehr verschieden klingen kann. Daher ist es nicht ausreichend, über das Hunde-bellen nur zwei alternative

Aussagen zuzulassen: *Hund bellt* und NICHT *Hund bellt*. Wir müssen vielmehr das Bellen in Klassen einteilen und darüber z.B. aussagen: *Hund knurrt*, *Hund bellt locker* oder *Hund bellt grimmig*. Vielleicht bellt da ja aber ein Wolf! Je nachdem, ob es sich bewährt hat, wegzulaufen oder das Tier zu streicheln, werden wir die entsprechenden Erlebnisse bewerten und für künftige Entscheidungen in unsere Erfahrungen aufnehmen.

Generell gibt es Aussagen, die sich nicht ohne Willkür als wahr oder falsch verifizieren lassen. Dazu muss die Logik, insbesondere die Logik von Rechnern, erweitert werden. Die Aussage *Die Frau ist schön* gibt eine subjektive ästhetische Empfindung wieder, wobei es quantitative Ausprägungen von Schönheit gibt, und jeder Betrachter die Grenze zwischen *schön* und NICHT *schön* anders zieht. Das ließe sich quantifizieren, indem man ermittelt und quantitativ angibt, wie viel Prozent der Betrachter eine bestimmte Frau als *schön* bezeichnen würden. Diese Angabe ist als Wahrscheinlichkeit dafür anzusehen, dass ein beliebiger Betrachter diese Frau *schön* findet.

Aber es ist noch zu früh, die emotionale Wirkung schöner Frauen zu analysieren. Zunächst müssen wir über die kantigen Felsen der zweiwertigen Logik des Wahren und Falschen klettern, um zu verstehen, wie wir lernen, mehr oder weniger logisch zu denken. Danach führen uns sanftere Wege über Wahrscheinlichkeiten, Nutzen und Empfindungen in freundlichere Auen mit Schönheit, Liebe und Glück.

2) *Erfahrungsbasiertes Schließen* *Logik, Grammatik und Semantik*

In diesem Kapitel soll die Logik des Trainierbaren Automaten TA beschrieben werden. Für logische Schlüsse bedürfen Datenstrukturen und Verarbeitungsoperationen einer möglichst präzisen Definition. Wer damit Schwierigkeiten hat, dürfte dennoch in der Lage sein, den weiteren Ausführungen ab Kapitel 3 zu folgen.

Zur experimentellen Realisierung des TA ist nicht beabsichtigt, die neuronalen Strukturen unseres Gehirns zu simulieren. Natürlich wäre eine derart hochgradig parallele Datenverarbeitung wünschenswert, weil sie in dieser Hinsicht unserem Denken vergleichbar ist. Hierfür käme z.B. die Holographie in Betracht, die sich weitgehend mathematisch beschreiben lässt, weil ihre Grundoperationen linear sind. Das erfordert aber Integraltransformationen, die hier tunlichst vermieden werden sollen. Doch lässt sich die selbstständige Bildung von Datenstrukturen und deren Verarbeitung ebenso gut durch sequentielle Algorithmen definieren, die als spezielles Betriebssystem eines Digitalrechners anzusehen sind. Für die nachfolgend beschriebenen Erprobungen wurde der Trainierbare Automat TA auf einem normalen PC implementiert.

2.1 *Trainieren, Lernen und Erfahrungen* *Natürliche Sprache*

Der Mensch kommt schon mit viel Information ausgestattet, wenn er auf die Welt. Seine Gene legen nicht nur seine Haarfarbe und den Winkel fest, in dem seine Ohren abstehen, sondern auch einfache Reflexe, die seine Nahrungsaufnahme steuern, und komplexere Instinkte, die u.a. sein Lernverhalten bestimmen. Durch Versuch und Irrtum lernt ein Baby tastend, Objekte zu lokalisieren und zu greifen. Ebenso stochastisch erzeugt es Laute. Bla bla findet bei seinen Mitmenschen keine wohlwollende Resonanz. Bestimmte Laute aber wiederholt er unermüdlich, sobald er an der begeisterten Mimik seiner Zuhörer feststellt, dass sein Gestammel Zuwendung und Freude auslöst. Denn Freude anderer freut den kleinen Wicht, was bereits in den Genen festgelegt sein muss. Besondere Begeisterung erweckt die Wiederholung der Silben pa und ma. Zur Belohnung wiederholt die strahlende Mutter mama, und der Vater papa, bis das Kind gelernt hat, dass diese Worte bei zwei verschiedenen Menschen freudige Reaktionen auslösen. Daraufhin wird das kluge Kind Mama und Papa gelegentlich richtig anreden.

Fast alle anderen Worte muss das Kind mühsam aus Phonemen und Silben

zusammenbasteln, um sie zu erkennen und den richtigen Objekten zuzuordnen. Auch dabei hängt der Lernerfolg sehr stark von der **Rückkopplung** ab, mit der das Umfeld auf das Verhalten des Kindes reagiert. Wie sonst sollte ein Kind wissen, ob es sein Gestammel oder sein Verhalten als positiv oder negativ zu bewertende Erfahrung speichern soll, wenn des Kindes Tat nicht gerade ein eigenes Bedürfnis befriedigt?

Mama und Papa werden ihrem Zögling dann vielleicht eine Blume zeigen und dem Kind mitteilen, dass es sich um eine Blume handele, wodurch das Bild und der Duft der Blume mit dem Wort Blume verknüpft wird. Ebenso würde das Kind lernen, was es da in den Mund geschoben bekommt sei eine Mahlzeit, von einfühlsamen Eltern gelegentlich als Happe bezeichnet, obwohl Pädagogen keine Freunde der Babysprache sind. Ein solcher Bezug zwischen Wort und physischer Realität, das **Grounding**, benötigt Organe, durch die das Kind sein Wirkungsfeld wahrnimmt und mit ihm interagiert. Der TA muss vorerst ohne solche Organe auskommen. Kommerzielle Spracherkenner arbeiten bereits erstaunlich zuverlässig. Wie weit deren Methoden menschlicher Worterkennung entsprechen, soll hier nicht untersucht werden. Man weiß noch zu wenig über das Zusammenwirken von Ohrschnecke (Cochlea) und auditivem Cortex.

Weil sich Schriftsprache mittels Tastatur und Bildschirm eindeutig und fehlerfrei übertragen lässt, erfolgt die Kommunikation mit dem TA nicht über Mund und Ohr, sondern über Tastatur und Bildschirm.

Wenn der TA Neues lernen soll, gibt ihm der spätere Nutzer über Tastatur z.B. die Worte einer Frage ein:

Jedes Wort, das der TA hören soll, übergibt der Nutzer durch die Tastenfolge „höre(Wort)“, wobei die Funktion „höre“ das TA-Organ *Tastatur* kennzeichnet, das unser Hörorgan *Ohr* ersetzt.

Auf diese Weise spezifiziert der Nutzer die Aufgabe. Daraufhin spezifiziert der Nutzer selber oder ein Experte die Antwort als Lösung der Aufgabe:

Jedes Wort, das der TA sagen soll, übergibt der Experte durch die Tastenfolge „sage(Wort)“, wobei die Funktion „sage“ das TA-Organ *Bildschirm* kennzeichnet, das unser Sprachorgan *Mund* ersetzt.

Beim Arbeiten erzeugt der TA die Antwort selbsttätig und schreibt sie Wort für Wort auf dem Bildschirm.

Der TA soll Frage und Antwort so strukturiert speichern, dass er dadurch selbstständig Grammatik und Syntax natürlicher Sprache erlernt und auf dem Bildschirm darstellt, was er im Kontext des Gehörten sagen soll. Das kann so schwierig nicht sein, denn jedes Kind lernt grammatisch richtig zu sprechen, bevor ihm ein Lehrer die Regeln der Grammatik beibringt.

Zum Lernen stelle der Nutzer per Tastatur die Frage.

höre(ist) höre(Sokrates) höre(ein) höre(Mensch).

Daraufhin tippt der Experte auf der Tastatur seine Antwort:

sage(ja) sage(klar).

Frage und Antwort übernimmt der TA als Erfahrung:

$E_1 :=$ höre(ist) höre(Sokrates) höre(ein) höre(Mensch) sage(ja) sage(klar).

Zum Arbeiten stellt der Benutzer dem TA die einzige ihm bisher bekannte Frage:

höre(ist) höre(Sokrates) höre(ein) höre(Mensch).

Der TA stellt durch Vergleich fest, dass diese Frage Teil seiner bisher einzigen Erfahrung ist, und fährt nach der Frage erfahrungsgemäß fort:

sage(ja) sage(klar).

Was soll er auch sonst sagen? Danach ist der TA bereit für die nächste Eingabe, die er lernen oder auf die er reagieren soll.

Durch die Kommunikation über Textworte, die durch Leerzeichen getrennt sind, wird auch die schwierige Segmentierung von Lautfolgen in einzelne Worte umgangen.

Unbekannte Fremdsprachen werden als völlig unverständliche, kontinuierliche Geräusche wahrgenommen, weil unser Ohr sie nicht einmal segmentieren kann. Analog dazu sind alte Inschriften, in denen die Worte nicht durch ausreichende Zwischenräume getrennt sind, nur schwer lesbar. Es ist bedauerlich, dass Schreiber von e-mails es zunehmend an der orthographischen und syntaktischen Sorgfalt fehlen lassen. Diese Sorgfalt setzt der TA zunächst voraus.

Die Klassifikation von Sensorsignalen, also die Zuordnung von Namen und anderen Symbolen wird nicht nur deshalb grundsätzlich den Organen außerhalb des Trainierbaren Automaten zugewiesen, weil sie schwierig ist. Diese Funktionen werden auch im Gehirn von eigenständigen Komponenten, z.B. vom visuellen oder vom auditiven Cortex, übernommen, und in Digitalrechnern sind selbstständige Ein-/Ausgabeprozessoren für die Kommunikation des Zentralprozessors mit peripheren Geräten selbstverständlich.

Zu diesem ersten primitiven Beispiel kann man mit Recht einwenden, hier werde ja auch nur programmiert. Es wird beim Lernen genau das vorgemacht, was im gleichen Fall beim Arbeiten geschehen soll. Das folgende Kapitel schildert zunächst für diese einfache Aufgabe die einzelnen Schritte zur Speicherung, und zur späteren Erkennung und Auswahl der passenden Erfahrung. Letzteres wird **Parsing** genannt.

2.2 *Schlüsse der formalen Logik*

Fälle, Regeln und Vorhersagen

Erfahrungen werden in einer Datenstruktur gespeichert, die sich dynamisch nach festen Gesetzen aus einer einfachen Kette, wie E_1 zu einem hierarchischen Schema entwickelt. Die Erfahrung E_1 umfasst zunächst nur einen einzigen Fall: eine Kette von Erlebnissen, die jeweils nur ein Wort enthalten. Dazu wird vorläufig definiert:

Erlebnis:= Organfunktion(Wort); z.B. höre(ist).
Fall:= Kette von Erlebnissen;
Erfahrung:= Gespeicherter Fall; später: Ein Schema vieler ähnlicher Fälle.

UND als Kette

Inzwischen habe der TA bereits eine Menge von Erfahrungen, zu denen u.a. die in Kapitel 2.1 gewonnene gehöre:

E_1 := höre(ist) höre(Sokrates) höre(ein) höre(Mensch) sage(ja) sage(klar).

Mit farblicher Unterscheidung zwischen den **höre**-Erlebnissen und den **sage**-Erlebnissen wird die Erfahrung, die vorerst nur einen Einzelfall umfasst, in Abb.2.1 graphisch dargestellt:

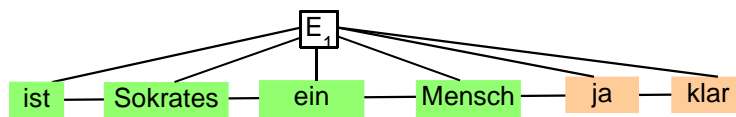


Abb.2.1: In einer Erfahrung sind Erlebnisse sequentiell als Kette durch das logische UND verknüpft.

WENN alle Bedingungen, die höre-Erlebnisse, eines in einer Erfahrung enthaltenen Falls wahr sind, d.h. mit den aktuellen Erlebnissen übereinstimmen, DANN ist die ganze Erfahrung wahr. Also sind auch die sage-Erlebnisse wahr und können als Weisung ausgeführt werden. Die einzelnen Erlebnisse einer Kette sind UND-verknüpft, es sei aber betont, dass die Verknüpfung hier nicht kommutativ ist, die Elemente der UND-Verknüpfung also nicht vertauscht werden dürfen. Das ist sinnvoll, weil die zeitliche Reihenfolge von Erlebnissen – später auch im Hinblick auf Ursache und Wirkung – von Bedeutung ist.

Der TA hält alles, was er von einem Lehrer oder Experten hört, für wahr, und behält es. Sollte man ihm diese Naivität abgewöhnen? Die Forderung, alles Gehörte müsse konsistent mit früheren Erfahrungen sein, darf man wiederum nicht stellen. Sonst würde ein Kind bis ins hohe Alter an den Weihnachtsmann glauben. Je älter man jedoch wird, desto mehr neigt man dazu, seinen Erfahrungsschatz für so umfassend zu halten, dass neues entweder unwichtig oder falsch sein muss.

Ausgestattet mit einer Menge von Erfahrungen, zu denen E_1 gehört, soll der TA jetzt arbeiten. Das erste Erlebnis

höre(ist)

vergleicht der TA mit seinen Erfahrungen und stellt dabei fest, dass dieses Erlebnis Bestandteil von E_1 und evtl. weiteren Erfahrungen ist. Für den TA kommen jetzt nur noch die Erfahrungen, die mit höre(ist) beginnen, als Fallhypothesen in Betracht. Die Symbole $\{E_m\}$ der möglichen Fälle bilden den Kenntnisstand des TA darüber, welche Fälle möglicherweise in der aktuellen Realität vorliegen.

Kenntnisstand:= Symbole $\{E_m\}$ der Erfahrungen, von denen durch Vergleich festgestellt wurde, dass Teile von ihnen mit dem aktuellen Fall übereinstimmen. Später wird der Kenntnisstand durch Fallwahrscheinlichkeiten beschrieben werden.

Aufgrund des aktuellen Erlebnisses höre(ist) und der möglichen Fälle im aktuellen Kenntnisstands kann der TA jetzt das im wahrscheinlichsten Fall folgende Erlebnis als Erwartung vorhersagen. Würde das erfahrungsgemäß vorhergesagte

höre(Sokrates),

nicht mit dem real folgenden Erlebnis übereinstimmen, so wäre die Hypothese E_1 falsch und würde im Kenntnisstand gelöscht. Bei probabilistischem Schließen nach Kapitel 3.3 würde sie geschwächt, während bestätigte Hypothesen verstärkt werden. So wird gemäß Abb.2.2 durch jedes neue Erlebnis der Kenntnisstand verbessert und das folgende Erlebnis als Erwartung vorhergesagt.

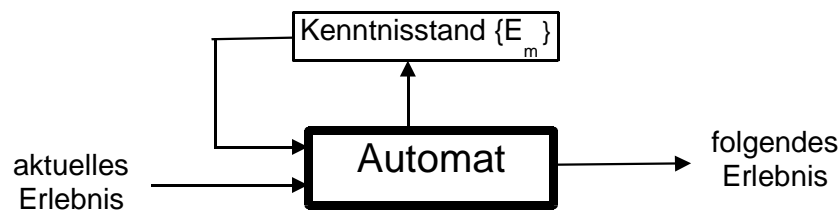


Abb.2.2: Der Automat vergleicht das aktuelle Erlebnis mit seinen Erfahrungen und bestimmt daraus und aus dem aktuellen Kenntnisstand das folgende Erlebnis und den neuen Kenntnisstand.

Die Vorhersage folgt jeweils aus der Kenntnis aller bisherigen aktuellen Erlebnisse. Man kann daher jede Erfahrung als eine geordnete Menge auffassen, die für jedes Erlebnis eine Regel enthält, z.B.

WENN höre(ist) UND höre(Sokrates) DANN höre(ein).

Dies Vorhersage höre(ein) wird wiederum zur Prüfung der Hypothese E_1 mit dem realen aktuellen Erlebnis verglichen. In den letzten Regeln der Erfahrung E_1 folgen in diesem Fall als Weisung die eigentlichen Aktionen sage(ja) und sage(klar).

(1) Eine Kette von Erlebnissen wird als Erfahrung gespeichert. Darin sind diese Erlebnisse durch das logische **UND** verknüpft. Eine Erfahrung enthält für jedes ihrer Erlebnisse die **Regel**: **WENN** alle vorangegangenen Erlebnisse wahr sind, **DANN** ist das jeweils folgende Erlebnis zu aktivieren und daraufhin zu erwarten. Jede Regel ist also eine **Vorhersage** des jeweils nächsten Erlebnisses.

Die in seiner Erfahrungsbasis enthaltenen Regeln sind ein wesentlicher Teil der Persönlichkeit eines Menschen. Selbstvertrauen kann nur besitzen, wer sich auf sich selbst und vor allem auf die in seinen Erfahrungen enthaltenen Regeln verlassen kann.

Um das Selbstvertrauen nicht zu gefährden, mogelt unser Gehirn oft, wenn es das aufgrund einer Regel vorhergesagte Erlebnis, die **Erwartung**, mit dem realen, aktuellen Erlebnis vergleicht. Was die eigene Erfahrung, Theorie oder Hypothese nicht bestätigt, oder den Regeln gar widerspricht, auf denen sie basieren, wird oft verdrängt. Daher kommt es vor, dass in einer Diskussion eine als unsinnig widerlegte Behauptung nach einiger Zeit unverfroren wiederholt wird. Diese Rechthaberei bevorzugt Bestätigungen und heißt im Englischen *Confirmation Bias*.

Wer meint, unfehlbar zu sein oder sein zu müssen, verdrängt gern Fehler und Widersprüche als Ausnahmen, die ja mal vorkommen können. Bestätigungen bewertet er dagegen hoch: „Ich hatte wieder einmal Recht!“, bis er selbst an seine Unfehlbarkeit glaubt. Dann wird es immer schwieriger, ihn davon zu überzeugen, dass auch er sich einmal irren kann.

ODER als Variable

Natürlich kann der TA beliebig viele Erfahrungen unabhängig von einander sammeln und nutzen. Doch ist es keine geistige Leistung, einfach nur die als Erfahrungen erlernten Ketten von Erlebnissen wiederzuerkennen und zu reproduzieren. Es wird zu zeigen sein, wie sich selbständig komplexere Datenstrukturen bilden, die Schemata genannt werden und logisches Denken ermöglichen.

Es reduziert nicht nur den Speicheraufwand, sondern ermöglicht es in Kapitel 2.3, neues Wissen zu erschließen, wenn fast gleiche Erfahrungen zu einer Erfahrung zusammengefasst werden:

(2) Unterscheiden sich mehrere Fälle nur durch ein bestimmtes Erlebnis, so werden diese Fälle zu einer Erfahrung zusammengefasst, in der alle unterschiedlichen Erlebnisse durch eine **Erlebnis-Variable** repräsentiert werden. Dabei sind alle für diese Variable möglichen Erlebnisse durch das logische **ODER** verknüpft.

Die unterschiedlichen Erlebnisse, die eine Variable repräsentiert, werden als **Werte** dieser Variablen bezeichnet.

Zur Abkürzung werden künftig Erlebnisse des gleichem Organs in der Textdarstellung zusammengefasst.

Ein neuer Fall

höre(ist Xanthippe ein Mensch) sage(ja klar) wird nach (2) in die Erfahrung

$E_1 := \text{höre}(\text{ist Sokrates ein Mensch}) \text{ sage}(\text{ja klar})$

aufgenommen. Beide Fälle gelten für Sokrates ODER Xanthippe, sind sonst identisch und werden daher zu der Erfahrung zusammengefasst:

$E_1 := \text{höre}(\text{ist } \{\text{Sokrates ODER Xanthippe}\} \text{ ein Mensch}) \text{ sage}(\text{ja klar}).$

Das ODER ist kein Exklusiv-ODER, denn sowohl Sokrates, als auch Xanthippe sind Menschen.

Klammerausdrücke als Schemahierarchien

In jeder Erfahrung kann jedes Erlebnis eine ganze Erfahrung repräsentieren:

(3) Enthält einer Erfahrung E_1 eine Kette von Erlebnissen, die bereits als Erfahrung E erlernt worden ist, so wird diese Kette in E_1 durch das Symbol E ersetzt. Die Erfahrung E wird so zu einem Bestandteil der weitergehenden Erfahrung E_1 . Dort kann die Erfahrung E einer der Werte einer Erlebnis-Variablen sein, wie in Abb.2.3. So entsteht eine **Schema-Hierarchie**.

Als Beispiel werde dem TA der neue Fall beigebracht:

$F := \text{höre}(\text{ist dieser eitle Kerl da ein Mensch}) \text{ sage}(\text{ja klar}).$

Was ein eitler Kerl ist, weiß der TA aus Erfahrung:

$E_0 := \text{höre}(\text{dieser eitle Kerl da}) \text{ sehe}(\text{Ludwig}).$

Darin werden die zu gleichen Organen gehörenden Teile

$E_{0H} := \text{höre}(\text{dieser eitle Kerl da})$ und

$E_{0S} := \text{sehe}(\text{Ludwig})$ als selbständige Erfahrungen betrachtet.

F und E_1 unterscheiden sich nur dadurch, dass der neue Fall F die Erlebniskette E_{0H} enthält, während in E_1 an gleicher Stelle die Variable $\{\text{Sokrates ODER Xanthippe}\}$ auftritt. Daher wird das Symbol $E=E_{0H}$ dieser Kette in E_1 substituiert. Damit enthält die Erfahrung E_1 auch den neuen Fall F :

$E_1 := \text{höre}(\text{ist } \{\text{Sokrates ODER Xanthippe ODER } E_{0H}\} \text{ ein Mensch}) \text{ sage}(\text{ja klar}).$ Wir schreiben auch:

$E_1 := \text{höre}(\text{ist } \{\text{Sokrates ODER Xanthippe ODER [dieser eitle Kerl da]}\} \text{ ein Mensch}) \text{ sage}(\text{ja klar}).$

In dieser Textdarstellung wird deutlich, dass durch Anwendung von (3) selbstständig logische Aussagen und Regeln mit **Klammerausdrücken** entstehen. Wie in der Arithmetik müssen auch in der Logik die Operationen innerhalb einer Klammer ausgeführt worden sein, bevor Operationen mit dem Ergebnis des Klammerausdrucks erfolgen.

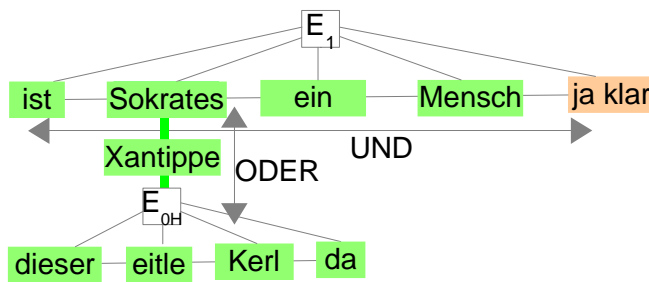


Abb.2.3: In die Erfahrung werden zu einem Erlebnis weitere alternative Erlebnisse aufgenommen, die in der Erfahrung an gleicher Stelle stehen und selbst komplette Erfahrungen sein können.

In Anbetracht der graphischen Struktur nach Abb.2.3 wird die Datenstruktur einer komplexen Erfahrung **Schema** genannt. Seine Elemente sind in digitalen Speichern durch Datenzeiger verbunden. In der Informatik heißen die Symbole, die ganz unten im Schema direkt mit Ein-/Ausgabemedien (höre, sage) kommunizieren, **terminale Symbole**. Symbole, die in übergeordneten Schemata eingebettete Schemata repräsentieren, werden als nicht terminale Symbole oder **Metasymbole** bezeichnet. Im folgenden wird gelegentlich von terminalen oder nicht terminalen Erlebnissen gesprochen.

Das logische UND wird in verbalen Darstellungen von Ketten nicht mehr genannt und in Graphiken durch einen horizontalen Strich kenntlich gemacht. Das logische ODER wird graphisch durch einen vertikalen, dickeren Strich repräsentiert. Der dritte logische Basisoperator, das **NICHT**, ist im TA nicht explizit implementiert. Erlebnisse wirken nach Kapitel 3.6 als Negation, wenn sie negativ bewertete Empfindungen enthalten. Der TA soll keineswegs immer nur positiv denken!

Die soeben beschriebene Schemastruktur der Erfahrungen verknüpft viele Fälle, also Ketten von Erlebnissen. Diese Schemastruktur ist nicht zu verwechseln mit den Netzwerken von einzelnen Erlebnissen und Begriffen, die in vielen Veröffentlichungen semantische Relationen zwischen Begriffen anschaulich darstellen.

Man muss nicht unbedingt wissen, was Logik formal eigentlich ist, um logisch denken zu können. Wer sich bemüht, seine Gedankengänge beim Denken nachzuvollziehen, wird feststellen oder wenigstens errahnen, dass er dabei fast immer Bedingungen prüft und sein Handeln davon abhängig macht, ob und wie weit diese Bedingungen erfüllt sind:

WENN der Topf aber nun ein Loch hat UND [ich genug Geld habe ODER eine Kreditkarte habe]
DANN kaufe ich einen neuen Topf.

2.3 Analogieschlüsse

Semantik der Variablenwerte

In Kapitel 1.4 war aus den beiden Erfahrungen:

- 1) WENN das Objekt {Fritz ODER Otto ODER Karl} ist, DANN ist es dumm;
- 2) WENN das Objekt {Otto ODER Karl ODER Rudi} ist, DANN ist es faul;

geschlossen worden, dass zwei Drittel, also 66%, der Dummen auch faul sind. Wenn diese Feststellung nicht nur auf 6 Stichproben (Repräsentanten) beruhen, sondern aus einem großen Kollektiv von mehreren 100 von einander statistisch unabhängigen Repräsentanten ermittelt worden wäre, ließe sich daraus ableiten:

Für einen beliebigen Dummen, über dessen Faulheit nichts bekannt ist, z.B. für Fritz, gilt mit einer Wahrscheinlichkeit $p = 66\%$:

WENN das Objekt Fritz ist, DANN ist es faul.

Umgekehrt ist mit $p = 66\%$ anzunehmen, dass auch Rudi nicht nur faul, sondern auch dumm ist.

Eine Konsequenz, die aus Faulheit und Dummheit zu ziehen wäre, ist in den erlernten Erfahrungen natürlich nicht enthalten.

Vielleicht erfordert die soziale Gerechtigkeit eine Kompensation: Die armen Menschen, die dumm und faul sind, haben es im Leben so schwer. Sie müssten zum Ausgleich dieses schweren Nachteils eigentlich mehr verdienen, als die klugen und fleißigen. Manche Politiker tun so, als wüssten sie genau, was soziale Gerechtigkeit ist.

Kehren wir von den Dummen und Faulen zurück zu der einzigen Erfahrung, die wir bisher über Sokrates besitzen:

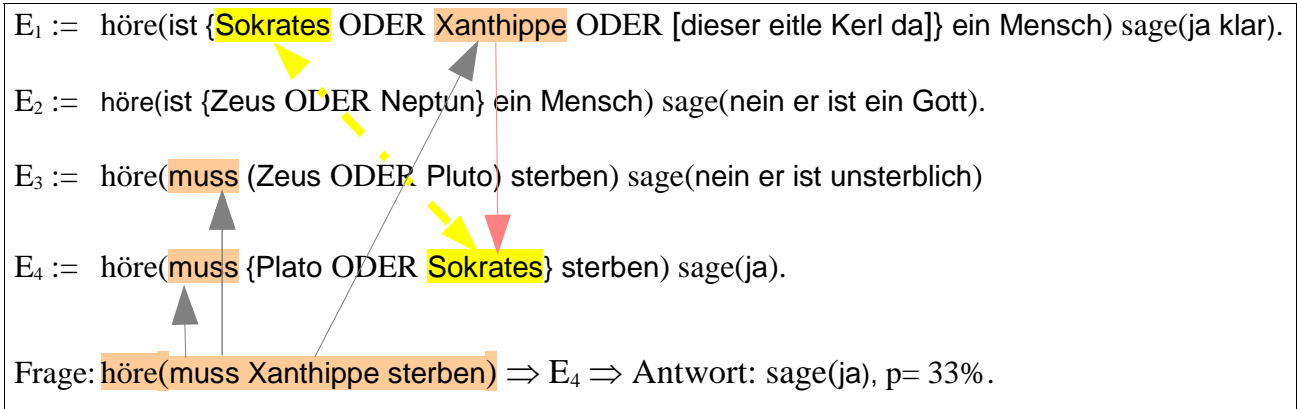
$E_1 := \text{höre}(\text{ist } \{\text{Sokrates ODER Xanthippe ODER [dieser eitle Kerl da]} \text{ ein Mensch}) \text{ sage}(\text{ja klar}).$

Wenn der TA nur die Erfahrung E_1 besitzt, ist seine Arbeit trivial. Wer fast nichts weiß, hat es eben bisweilen leichter. Jetzt wird es – aber nur vorübergehend – etwas schwieriger; nicht nur für den TA. Der habe auf gleiche Weise die Erfahrungen E_1 bis E_4 erworben, die in dem Kasten weiter unten aufgelistet sind.

Vorerst werden mit den Erfahrungen E_1 bis E_4 Fragen nach dem Menschsein und der Sterblichkeit von Objekten richtig beantwortet, soweit darüber unmittelbare Erfahrungen vorliegen. Muss nun für jedes mögliche Objekt gelernt werden, ob es ein Mensch und ob es sterblich ist? Das wäre ein ungeheurer Aufwand, zumal Menschen und Objekte noch viele andere Eigenschaften besitzen.

Aus den obigen Erfahrungen lassen sich Schlüsse ziehen, die in das philosophische Feld der Syllogistik des Aristoteles führen. Es wird sich aber zeigen, dass sie auch

großen praktischen Nutzen haben. Zur Verallgemeinerung des unmittelbaren Erfahrungswissens nutzen diese **Analogieschlüsse** die Bedeutung von Erfahrungen, soweit sie in der Menge ihrer Variablen steckt.



Muss Xanthippe sterben? Darüber hat der TA keine unmittelbare Erfahrung. Er weiß nur, dass Xanthippe ein Mensch ist. Für eines der drei, also für 33% der nach E_1 als Mensch bekannten Individuen, nämlich für Sokrates, weiß der TA aus seiner Erfahrung E_4 dass er sterben muss. Also liegt der Schluss nahe, dass 33% der Menschen sterben müssen. Die Wahrscheinlichkeit p , dass ein Mensch sterben muss, wäre daher $\sim 33\%$. Umgekehrt schließt der TA aus der Tatsache, dass Plato nach E_4 sterben muss und 50% seiner sterblichen Genossen nach E_1 Menschen sind, dass Plato mit $p \sim 50\%$ ein Mensch ist.

Wenn wir Erfahrungen über die Sterblichkeit sehr vieler Menschen haben, können wir daraus tatsächlich eine Wahrscheinlichkeit ableiten. Die ist dann zu unserem Leidwesen wesentlich höher.

Es ist schon richtig, dass statistische Aussagen mit Vorsicht zu genießen sind. Dies deshalb, weil statistische Aussagen stets Voraussetzungen haben, die sorgfältig zu prüfen sind. Bei den dargestellten semantischen Schlüssen ist die Grundvoraussetzung grob verletzt, dass die Stichproben, auf denen statistische Aussagen beruhen, vollständig oder jedenfalls repräsentativ sein müssen.

In der obigen Liste der Erfahrungen ist durch Pfeile verdeutlicht worden, wie der TA die Frage nach der Menschlichkeit von Xanthippe beantwortet.

$\text{höre}(\text{muss})$ aktiviert im Kenntnisstand die Erfahrungen E_3 und E_4 .
 $\text{höre}(\text{Xanthippe})$ gibt es nur in E_1 , das zu E_4 analog ist, weil beide das Wort Sokrates enthalten.
 Daher wird Xanthippe im aktivierten E_4 als Variable für Sokrates substituiert:
 $\text{höre}(\text{muss Xanthippe sterben}) \text{ sage}(\text{ja}).$ Der TA sollte hinzufügen, mit $p \sim 33\%$.

Hätte der TA eine andere Erfahrung

$E_4 := \text{höre}(\text{mag } \{\text{Plato ODER Sokrates}\} \text{ gern Oliven}) \text{ sage}(\text{ja}),$

so würde er schließen, dass 33% der nach E_1 als Mensch bezeichneten Objekte gern Oliven essen, und daher erfahrungsgemäß antworten:

Frage: höre(mag Xanthippe gern Oliven) $\Rightarrow E_4 \Rightarrow$ Antwort: sage(ja), $p = 33\%$.

Für das lange Wort Wahrscheinlichkeit wird oft nur p geschrieben. Die eben beschriebenen Beispiele sollten das Prinzip semantischer Schlüsse deutlich machen. Mit der folgenden allgemeinen Formulierung muss sich niemand belasten, der das nicht möchte.

- (4) Haben die Wertemengen W_1 und W_2 zweier Variablen aus den Erfahrungen E_1 und E_2 , die in allen übrigen Erlebnissen übereinstimmen, eine Schnittmenge $W_1 \cap W_2$, so ist die Analogie: $= p(E_1 | E_2) = \text{Anzahl}(W_1 \cap W_2) / \text{Anzahl}(W_2)$.
Das erlaubt den **Analogieschluss** $E_2 \Rightarrow E_1$ mit Wahrscheinlichkeit $p(E_1 | E_2)$.

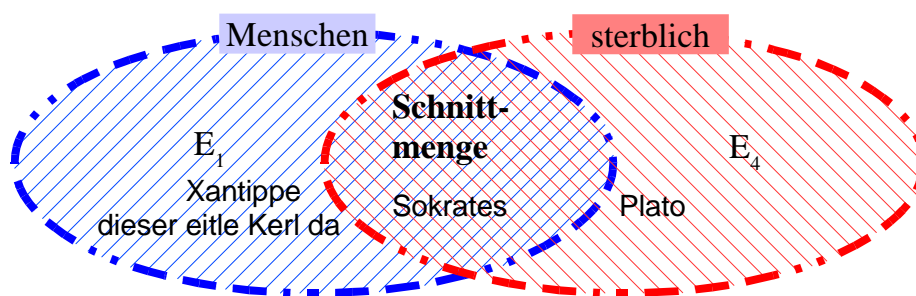


Abb. 2.4: Je größer die Schnittmenge von Variablen in zwei Erfahrungen, desto größer ist die semantische Verwandtschaft dieser Erfahrungen.

Dies ist in Abb.2.4 graphisch dargestellt worden. Über die Mengenlehre in der Schule ist viel geschimpft worden. Wem die Grundlagen der Mengenlehre in der Schule vorenthalten worden sind, der hat jedoch eine wichtige Denkweise verpasst.

In (4) sind statistische Relationen zwischen den Mengen der Werte von Variablen spezifiziert worden. Das genannte und weitere Beispiele zeigen, dass diese Relationen auch Ähnlichkeiten in der Bedeutung von Erfahrungen, also semantische Relationen oder Analogien definieren.

Wenn der TA mit den angegebenen Erfahrungen E_1 bis E_4 eine der folgenden Fragen 'hört', 'sagt' er jeweils die darauf folgende Antwort, obwohl er das für die nachgefragten Individuen nie gehört bzw. erlebt hat:

höre(ist Plato ein Mensch) sage(ja klar)
höre(ist Pluto ein Mensch) sage(nein er ist ein Gott)
höre(muss Neptun sterben) sage(nein er ist unsterblich)
höre(muss dieser eitle Kerl da sterben) sage(ja)

Je länger die Liste der Werte ist, die Variablen in Erfahrungen annehmen können, desto vielfältiger sind die semantischen Relationen. Liegt über 100 Freunde die Erfahrung vor, dass sie ein Mensch sind, und ist nur von einem Freund aus unmittelbarer Erfahrung bekannt, dass er sterben musste, so schließt der TA, dass 1% der Freunde sterben müssen. Welcher Freund ist nicht zu ermitteln, aber für jeden

Freund beträgt die Wahrscheinlichkeit 1%. Die Aussage, dass alle Freunde sterben müssen, ist nicht durch Erfahrung zu belegen, solange noch ein Freund lebt. Mit ähnlichen Fragen befasst sich Aristoteles in seiner Logik.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die ODER-Verknüpfung nicht problemlos mit dem Sprachempfinden harmoniert. In einer Aussage ist $\text{höre}(A \text{ ODER } B)$ sowohl dann wahr, wenn $\text{höre}(A)$ wahr ist, als auch dann, wenn $\text{höre}(B)$ wahr ist. Es können auch beide wahr sein. Das Sprachempfinden verbindet mit dem ODER eher das Entweder/Oder (exclusive OR).

2.4 *Schlüsse der Prädikatenlogik* *Logikpartner*

Weil alle Objekte, die auf zwei Beinen laufen, Menschen sind, und sich für griechische Götter kaum noch jemand interessiert, haben die bisherigen Beispiele und die aus ihnen gewonnenen Erfahrungen keinen praktischen Nutzen. Für einen Plausch über Gott und die Welt reichen vorerst weder die Erfahrungsbasis des TA noch seine intellektuellen Fähigkeiten. Auf tiefeschürfende Diskurse über eine große Vielfalt von Situationen und Verhaltensweisen in dieser bunten Welt wird sich der TA zunächst nicht einlassen können. Damit das erforderliche Wissen handhabbar bleibt, pflegt man zur Erprobung neuer Informationssysteme den Erfahrungshorizont rigoros zu begrenzen. Er umfasst dann nur einen kleinen Teil der Welt, ein *eingeschränktes Universum*. Im Fachgebiet der künstlichen Intelligenz sind Frage-Antwort-Systeme mit jeweils eingegrenztem Wissensgebiet entwickelt worden.

Von praktischem Nutzen könnte die Fähigkeit des TA sein, unter Berücksichtigung des Kontextes innerhalb eines Satzes natürliche Schriftsprache aus dem Englischen ins Deutsche zu übersetzen. Der Trainierbare Automat (TA) habe in diesem Kapitel die Aufgabe, englischen Touristen Fragen nach dem Weg ins Deutsche zu übersetzen, damit ein Engländer sich in einer deutschen Stadt durchfragen kann. Für die Übersetzung von Fragen kommt der TA weitgehend ohne echtes Sprachverständnis aus. Er muss nicht unbedingt wissen, was ein Bahnhof ist und wie er aussieht. Die deutsche Antwort eines befragten Mütterchens und die darin enthaltenen topologischen Hinweise stützen sich jedoch in den meisten Fällen auf sensorisch erfasstes Wissen über Straßen und Häuser. Über ein solches Verständnis verfügt der TA mangels geeigneter Aktoren und Sensoren bisher nicht. Also soll er eine verbale Antwort überhaupt nicht beachten. Dem Touristen möge es auf der Suche nach dem richtigen Weg genügen, wahrzunehmen, wohin die Befragte bei ihrer Antwort zeigt, und diesem Hinweis zu folgen, bis er meint, wieder jemanden fragen zu müssen. Mehr Information gewinnen wir im allgemeinen auch nicht, wenn wir z.B. in einer polnischen Stadt aus unserem persönlichen kleinen Wortschatz mühsam einige

Brocken zu einer Frage zusammengebastelt haben, und uns der Befragte aus dem Füllhorn der polnischen Sprache mit einer sprudelnden Antwort überschüttet.

Im Anfang war das Lernen. Experimente mit einer Implementierung des TA auf einem Digitalrechner haben gezeigt, dass der Aufwand wesentlich geringer ist, wenn mit kurzen Satzteilen, sozusagen „klein“ angefangen wird. Das muss nicht unbedingt für neuronale Netzwerke gelten. Es könnte dennoch gegen die Ganzheitsmethode in der Sprachvermittlung sprechen. Was sollte schließlich ein Kind mit den langen Wortfolgen anfangen, mit denen Erwachsene kommunizieren, wenn es nur wenige Worte versteht? Um solches Geschwätz scheint sich ein Kleinkind überhaupt nicht zu kümmern. Dem TA wird daher zunächst die Übersetzung kurzer Satzteile beigebracht, bevor er ganze Sätze verdauen muss.

Nach Kapitel 2.2 enthält ein als Schema gespeicherter Satz für jedes seiner Worte eine Regel: Jedes Wort folgt aus allen im Satz vorangegangenen Worten. Daher könnte zwischen je zwei Worten das die Folgerung kennzeichnende Symbol \Rightarrow stehen. Im Interesse der Übersichtlichkeit wird es künftig jedoch nur dann in einen Satz eingefügt, wenn ein das Organ wechselt.

Der TA höre(einen englischen Satzteil) und sage(einen deutschen Satzteil).

Zunächst ist zu lernen:

höre(the market)	\Rightarrow sage(der Markt) ,
höre(the station)	\Rightarrow sage(der Bahnhof).

Diese beiden Erfahrungen bestehen jeweils aus 2 Erlebnisgruppen gleicher Organfunktion und unterscheiden sich nur durch je 1 Erlebnis in beiden Gruppen. Diese werden zu Partnervariablen mit vorerst je 2 möglichen Werten in einer Erfahrung, die Prädikat heißt.

(5) Unmittelbar auf einander folgende Erlebnisse gleicher Organfunktion werden als Erlebnisgruppe bezeichnet. Unterscheiden sich zwei Erfahrungen nur durch je ein Erlebnis in m Gruppen, so werden diese Erlebnisse zu Partnervariablen und die Erfahrungen zu einem **m-stelligen Prädikat** ($m \geq 2$). Zusammengehörige Werte von Partnervariablen werden durch Datenzeiger verbunden.

So seien beispielsweise die folgenden zweistelligen Prädikate entstanden:

$S_1 :=$ höre(the {market ODER station})	\Rightarrow sage(der {Markt ODER Bahnhof})
$S_2 :=$ höre(the {church ODER opera})	\Rightarrow sage(die {Kirche ODER Oper}).
$S_3 :=$ höre(to the {port ODER station})	\Rightarrow sage(zum {Hafen ODER Bahnhof}).
$S_4 :=$ höre(to the {church ODER city})	\Rightarrow sage(zur {Kirche ODER Stadt}).

Es kann nicht der Willkür des TA überlassen werden, welchen Wert der Variablen, also welche der durch ODER verknüpften Alternativen, er in seiner Antwort benutzt. Der TA muss sich in seiner Erfahrungsbasis merken, welche Werte der Variablen in Frage und Antwort als **Partner** zusammen gehören. Dies geschieht im Hinblick auf

die Flexibilität durch Datenzeiger, wie sie auch andere Bestandteile einer Erfahrung verbinden.

Nun zum Arbeiten, in Fachkreisen **Parsen** genannt. Wenn der TA in der Frage auf eine Variable gestoßen ist, merkt er sich, wo in der passenden Erfahrung der Partner des aktuellen Werts dieser Variablen zu finden sein wird. Wenn der TA beim Abarbeiten der passenden Erfahrung dann auf die zugehörige Variable in der Antwort stößt, setzt er diesen Partner in die Antwort ein. Das ist in Abb.2.5 dargestellt.

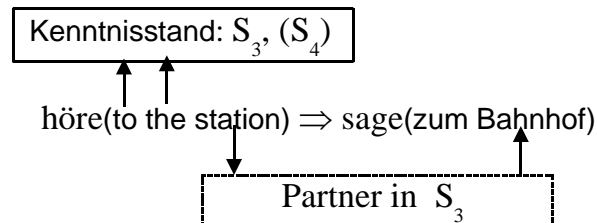


Abb.2.5: Höre(to the) wählt die Erfahrungen S₃ und S₄ aus. Höre(station) passt nur in S₃ und hat dort den Partner Bahnhof, der an der erwarteten Stelle eingesetzt wird.

Im Beispiel der Abb.2.5 identifiziert höre(to the) das Schema noch nicht, weil die Engländer hier, im Gegensatz zu den Deutschen, die Geschlechter sprachlich gleich behandeln. Erst das dritte Wort station identifiziert S₃. Dessen Partner Bahnhof wird als Wert der Variablen {Hafen ODER Bahnhof} ausgewählt.

Mit den Erfahrungen S₁ bis S₄ sei die darin unbekannte Frage zu übersetzen:

höre(to the market).

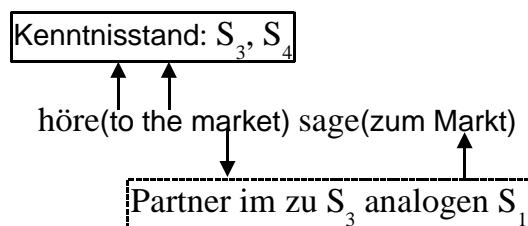


Abb.2.6: höre(to the) wählt die Erfahrungen S₃ und S₄ aus. Das in beiden unbekannte market hat in dem zu S₃ analogen S₁ den Partner Markt, der in S₃ an der erwarteten Stelle substituiert wird.

Die ersten Worte to the bringen in den Kenntnisstand wieder die beiden Schemata S₃ und S₄. In beiden kommt das nächste Wort market aber nicht vor. Daher wird nach analogen Variablenmengen in anderen Schemata gesucht. Weil station sowohl in S₃, als auch in S₁ auftritt, sind diese beiden Schemata analog zu einander. Zu S₄ ist S₂ analog. Aber nur S₁ enthält das aktuelle Wort market, und hat dort den Partner Markt, der daher nach Abb.2.6 in S₃ für die Variablen {Hafen ODER Bahnhof} substituiert wird. Sprachschemata sind häufig analog zu einander, wenn ihre Variablen das gleiche Geschlecht haben. Mit den Erfahrungen S₁ bis S₄ übersetzt der TA auch

andere Satzteile richtig, deren Übersetzung er nicht gelernt hat:

höre(the port) \Rightarrow sage(der Hafen). höre(to the opera) \Rightarrow sage(zur Oper).

Mit einigen weiteren Erfahrungen bastelt sich der TA unter Nutzung von Analogien auch die Übersetzung ganzer Sätze zusammen, wie das in Kapitel 2.5 beschrieben wird. Zum Beispiel kann der TA vorführen:

höre (how do I get quickly from the station to the nearest doctor by car)
 \Rightarrow sage(wie komme ich schnell mit dem Auto vom Bahnhof zum nächsten Arzt).

Im Zeitalter von GPS-gestützten Navigationssystemen findet sich für die beschriebene Anwendung natürlich kein Markt. Außerdem gibt es sehr leistungsfähige kommerzielle Übersetzer und Spracherkenner, die Textsprache Wort für Wort in übersetzen. Der TA nutzt den Kontext zwischen den Worten des ganzen Satzes und reduziert dadurch die Fehlerrate erheblich. So weiß der TA aufgrund seiner Erfahrungen, dass in bestimmter Position eines Satzes nur bestimmte Worte zu erwarten sind.

Wenn mehrere verschiedene Organe zusammenarbeiten, wahren mehrstellige Prädikate den Zusammenhang zwischen deren Erlebnis-Variablen.

2.5 *Logik und Grammatik*

Syntax der Sprache, Schemata

Logische und semantische Relationen

Schlüsse der Prädikatenlogik haben im vorangegangenen Kapitel die Übersetzung von Satzteilen der natürlichen Sprache ermöglicht. In diesem Kapitel werden ganze Sätze in eine Schemastruktur gebracht. Ziel ist, um das noch einmal zu betonen, nicht die Entwicklung eines kommerziellen Spracherkenners oder Übersetzers. Wichtig ist, dass der TA, wie ein Kind, allein aufgrund seiner Erfahrungen grammatisch einwandfreie deutsche Sätze erzeugt.

Im Alltag werden deutsche Sätze eher selten durch Übersetzung fremder Sprachen generiert. Sie entstehen aber auch nicht aus dem Nichts. Menschen denken üblicherweise, bevor sie reden. Die Erlebnisse, die in diesen Gedanken verknüpft werden, sind nicht nur blasse Worte. Die meisten Erlebnisse werden dem Gehirn von Auge, Ohr und anderen Organen gemeldet und können ganze Erfahrungen aktivieren, wie sie in hierarchischen Schemata enthalten sind. Eine Erlebnisfolge seiner Gedanken übersetzt der Mensch in die Wortfolge eines Satzes. Nach Kapitel 6.3 lassen verantwortungsbewusste Menschen jeden generierten Satz von Agenten prüfen, die in ihrem Gehirn die Interessen ihrer Mitmenschen vertreten. Erst dann entlassen sie den Satz aus dem Gehege ihrer Zähne.

Die Bildung von Gedanken über uns und die Welt, sowie deren Umsetzung in natürliche Sprache ist ein weites Feld, in das sich der TA noch nicht hinein traut. Darum werde die Entstehung von Grammatik in Form von Schemastrukturen weiterhin an der Aufgabe erläutert, in englischer Sprache formulierte Fragen ins Deutsche zu übersetzen.

Die bisher genutzten Analogien zwischen Variablenmengen spezifizieren eine besondere **semantische Relation**: Diese Variablenmengen haben in den behandelten Sprachbeispielen gleiches Geschlecht. Daher sind sie bei Übersetzungen gleich zu behandeln. Das Geschlecht ist eine durch Konvention festgelegte Gemeinsamkeit. Es ist nicht für jedermann erkennbar, welche semantische Verwandtschaft es zwischen Objekten geben soll, deren verbale Bezeichnung das gleiche Geschlecht hat. Warum heißt es die Meise und der Specht, die Tür und das Fenster?

Der TA hat in Kapitel 2.4 bereits gelernt:

$S_1 := \text{höre}(\text{the } \{\text{market ODER station}\})$	$\Rightarrow \text{sage}(\text{der } \{\text{Markt ODER Bahnhof}\})$
$S_2 := \text{höre}(\text{the } \{\text{church ODER opera}\})$	$\Rightarrow \text{sage}(\text{die } \{\text{Kirche ODER Oper}\})$
$S_3 := \text{höre}(\text{to the } \{\text{port ODER station}\})$	$\Rightarrow \text{sage}(\text{zum } \{\text{Hafen ODER Bahnhof}\})$
$S_4 := \text{höre}(\text{to the } \{\text{church ODER city}\})$	$\Rightarrow \text{sage}(\text{zur } \{\text{Kirche ODER Stadt}\})$

Wenn er mit seinen Erfahrungen

höre(to the opera)

übersetzen soll, führt höre(to the) zum Kenntnisstand $[S_3, S_4]$ mit einer Analogie nur zwischen den gleichgeschlechtlichen Variablen von S_2 und S_4 , also {church ODER city} und {church ODER opera}. Daher wird S_4 fortgesetzt mit dem substituierten Variablenwert zur Oper:

sage(zur Oper).

Das ist also kein Problem. Wenn der TA aber außerdem den Dativ erlernt hat:

$S_8 := \text{höre(to the \{chapel ODER church\})} \Rightarrow \text{sage(der \{Kapelle ODER Kirche\})}$,

würde höre(to the) natürlich die weitere Hypothese S_8 im Kenntnisstand bilden, und auch S_8 ist analog zu S_2 . Daher kann der TA in der Tat jetzt nicht mehr entscheiden, ob er

höre(to the opera) mit sage(zur Oper) oder sage(der Oper) übersetzen soll.

Da kann dem TA kein Mensch weiterhelfen. Da ist der Kontext eines ganzen Satzes erforderlich, der natürlich zuvor erlernt worden sein muss, z.B.:

$S_{10} := \text{höre(how do I get to the church)} \Rightarrow \text{sage(wie komme ich zur Kirche)}$

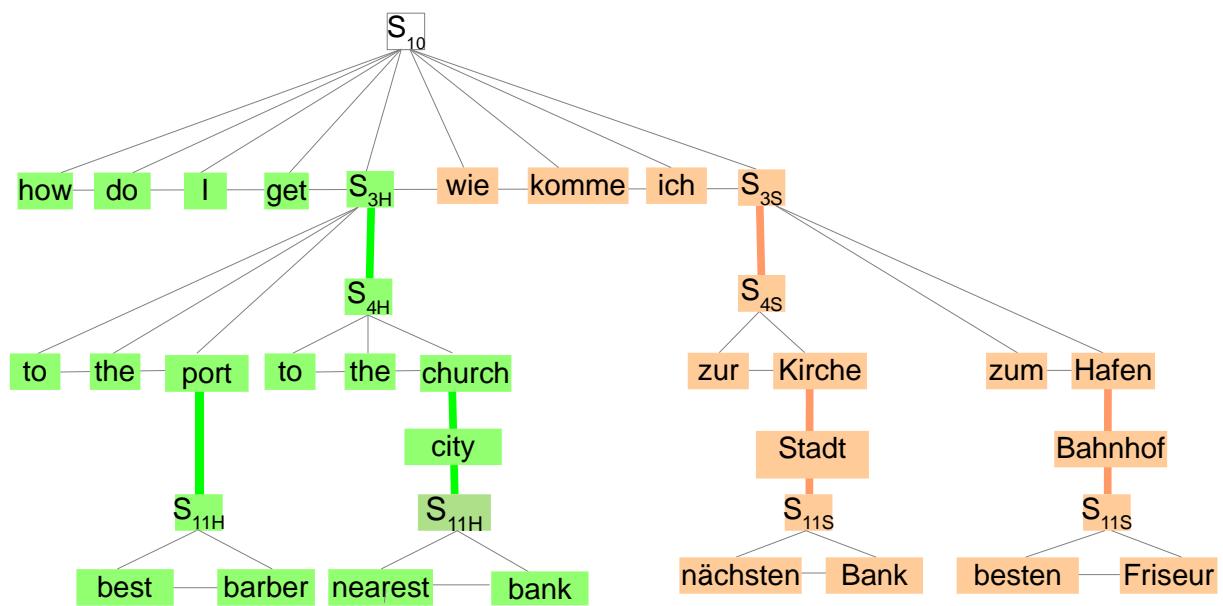


Abb. 2.7: Wenn nicht-terminale Erlebnisse aus anderen Erfahrungen als Partner in ein Schema eingefügt werden, kann eine Schemahierarchie beliebig wachsen.

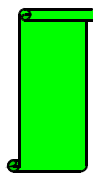
In diese Basiserfahrung werden die Schemata S_1 bis S_4 nach (2) als Variable eingebaut. Weil eine verbale Beschreibung des neuen Schemas sehr unübersichtlich würde, ist S_{10} in Abb. 2.7 graphisch als Baum dargestellt worden.

Wenn der TA außerdem ein Schema mit einem Dativ erlernt hat und nunmehr eine der beiden Fragen hört:

höre(how do I get to the opera),
höre(this belongs to the opera),

ist der Fall klar, denn in den dazu erlernten Schemata kann nur entweder S_4 oder S_8 auftreten.

Satzschemata

 Künftig wird von **Erfahrung** gesprochen, wenn der semantische Gehalt im Vordergrund steht, und von **Schema**, wenn es mehr um die Datenstruktur der Erfahrung geht. Eine Erfahrung bzw. ein Schema enthält im allgemeinen die Beschreibung mehrerer Situationen oder Fälle.

In Abb.2.7 ist das hierarchische Schema S_{10} mit einer Erweiterung nach unten dargestellt worden. Die zeitliche Reihenfolge der einzelnen verbalen Erlebnisse einer Erfahrung muss im abgespeicherten Gesamtschema natürlich erhalten bleiben. Daher darf kein untergeordnetes Schema nach dem gehörten Teil der Frage gleich vorlaut die in diesem Schema zugehörige Antwort *sagen*. Erst müssen die übergeordnete Schema die an sie gestellte Frage vollständig *gehört* haben. Untergeordnete Schemata müssen daher in die Erlebnisse zerlegt werden, die das *Hören* betreffen und erst nach einander abgearbeitet werden müssen, bevor die Erlebnisse ausgeführt werden, die das *Sagen* haben wollen. Dem entsprechend ist in Abb.2.7 das Schema

$S_4 := \text{höre}(\text{to the } \{\text{church ODER city}\}) \Rightarrow \text{sage}(\text{zur } \{\text{Kirche ODER Stadt}\})$

in zwei Erlebnisgruppen, also in zwei Folgen von Erlebnissen gleichen Organs zerlegt worden:

Höreschema $S_{4H} := \text{höre}(\text{to the } \{\text{church ODER city}\})$,

Sageschema $S_{4S} := \text{sage}(\text{zur } \{\text{Kirche ODER Stadt}\})$.

(6) Erlebnisgruppen können zu Partnern in Prädikaten werden, wenn über ihren Zusammenhang bereits eine selbständige Erfahrung vorliegt. Da einzelne Erlebnisse der Gruppen wiederum komplette Erfahrungen enthalten können, entstehen so hierarchische Schemata.

So entstandene Schemata können wiederum als Variablenwert in übergeordnete Schemata eingefügt werden. Die textliche und graphische Darstellung wird allerdings rasch unübersichtlich und vermittelt einen Eindruck davon, wie schwer die entsprechenden, in wildem Wuchs entstandenen neuronalen Verknüpfungen im Gehirn zu analysieren sind. Abb.2.8 macht in Abb.2.7 die Worte *how* und *wie* zu Partnernvariablen.

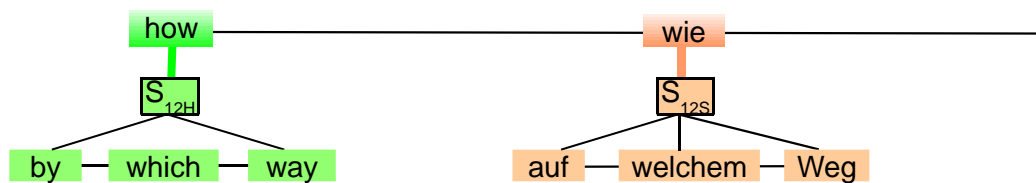


Abb 2.8: Natürlich können im Schema der Abb.2.7 weitere Erlebnisse zu Variablen gemacht werden.

Ein Schema spezifiziert eine **Grammatik**, die vorschreibt, wie Worte in einem Satz anzuordnen sind. Es gibt immer viele Ausnahmen, für die Sonderregeln trainiert werden müssen, die nicht generalisierbar sind. Solche Sonderregeln der Grammatik, die in reiner Logik nicht zulässig wären, erfreuen den TA genau so, wie den Schüler beim Erlernen einer Fremdsprache.

Deklination mit Bildung von Umlauten:

das Haus, die Häuser; die Maus, die Mäuse.

Konjugation unregelmäßiger Verben im Deutschen:

tragen, trage, trug, getragen.

Im Lateinischen noch eindrucksvoller: ferre, ferro, tulli, latus.

Homonymie, also verschiedene Bedeutungen des gleichen Wortes:

Ich gehe jetzt zu einer Bank.

Ist nur im Kontext anderer Erlebnisse eindeutig interpretierbar.

Es ist nicht experimentell überprüft worden, ob der TA mit diesen vielen Besonderheiten fertig wird, wenn er über hinreichend viele Erfahrungen verfügt. Es möge ausreichen, dass der TA die Deklination im Prinzip beherrscht.

Die Konjugation von Verben müsste die Zeit berücksichtigen. Diese Dimension ist dem TA bisher jedoch verschlossen. Aber die Reihenfolge der Erlebnisse in der Kette von Erfahrungen repräsentiert z.B. die vollendete Vergangenheit in einleuchtender Weise. Hierbei geht es um Erlebnisse vor einem bereits vergangenen Erlebnis. Das zweite Futur spezifiziert die Reihenfolge künftiger Erlebnisse in der Kette.

Wenn Erfahrungen über einen weiten Zeitraum im Schema einer übergeordneten Erfahrung protokolliert werden, lässt sich zeitlicher Kontext auch im Intervall zwischen weiten Horizonten herstellen. Neue Erfahrungen müssen dann laufend an diese übergeordnete Erfahrung angehängt werden, während ältere Erfahrungen in zunehmend komplexere Metaerlebnisse zu komprimieren wären. Es würde sicher nicht menschlichen Gepflogenheiten entsprechen, wenn der TA ein festes Verfallsdatum für seine Erfahrungen hätte.

Viele Sätze enthalten überflüssige Flickworte:

Gib mir bitte doch noch mal eben schnell die Seife! Es würde genügen: Gib mir die Seife!

In all diese Worte lässt sich ein gewisser Sinn hinein interpretieren. Vorerst beachtet der TA die überflüssigen Worte aber nicht und wartet nach Gib mir, bis wieder ein

Wort gemeldet wird, das in seine Erfahrung passt: die Seife.

Die Grammatik seiner Muttersprache erlernt ein Kind induktiv. In der Schule wird sie der Muttersprache nachträglich unterlegt. Wegen der weitgehenden Äquivalenz von Grammatik und Logik fördert es das logische Denkvermögen, eine Fremdsprache deduktiv zu erlernen, also ausgehend von Grammatik, Deklination und Konjugation, Sätze zu bilden. Die Beherrschung weiterer Sprachen bringt für das logische Denken nichts Neues, erleichtert aber die Kommunikation in einer globalisierten Welt, wenn es sich dabei nicht um eine tote Sprache, wie Altgriechisch, handelt.

Wenn ein hoffnungsfroher Benutzer seinem Handy oder seinem Rechner seinen Willen kund tun möchte, muss er dazu in genau vorgegebener Reihenfolge bestimmte Tasten drücken. Er muss also einer von Handy zu Handy unterschiedlichen Grammatik folgen, die reine Logik verlangt und keinerlei semantische Toleranz kennt. Auf einem neuen Handy betätigt man erst einmal frisch und frohgemut die Tasten nach Gutdünken. Nach vielen Misserfolgen tut das Handy dann irgendwann das, was man will. Ältere Menschen freuen sich dann zwar, wissen aber nicht mehr, durch welche Kette ungewohnter *Bedienerlebnisse* sie zum Ziel gelangt sind, und können die erfolgreiche Kette daher nicht in ihre Erfahrungen aufnehmen. Kinder finden die erfolgreiche Kette rasch in ihrem Kurzzeitgedächtnis und speichern sie als neue Erfahrung, aus der sie logische und semantische Schüsse ziehen können, wie ein Trainierbarer Automat TA.

2.6 *Logische Verknüpfung von Zahlen* *Rechnen*

Kinder lernen Rechnen zunächst als Abzählprozess, der meistens mittels der Finger vorgenommen wird und daher zum dezimalen Zahlensystem geführt hat. In der Schule müssen sie bereits zum Addieren und Subtrahieren einstelliger Zahlen viele Regeln bzw. Schemata lernen, z.B.

$R_1 := \text{höre}(\text{drei und sechs}) \Rightarrow \text{sage}(\text{ist neun})$.

Die Vielzahl der für alle Wertepaare erforderlichen Erfahrungen lässt sich durch Einführung von Variablen und Prädikaten nach (5) reduzieren. Das gilt auch für die übrigen Grundrechenarten. Der Umgang mit mehrstelligen Zahlen erfordert eine Zerlegung in mehrere Rechenschritte, für die ebenfalls Regeln erlernt werden müssen.

Weil es für das Rechnen mit Zahlen heute viel effektivere und zuverlässigere digitale Taschenrechner gibt, muss das dem TA nicht beigebracht werden. Diesen Schluss ziehen viele Kinder heute auch für sich selbst. Das disqualifiziert sie für alle Berufe, in denen mit Bargeld umgegangen werden muss. Weil man im Handel meistens nicht die Zeit hat, Stückzahl und Preis in einen Rechner einzugeben, kann nicht einmal Brötchen und Wurst verkaufen, wer den Kopf nicht als Rechner mit besonders schneller Ein- und Ausgabe zu nutzen gelernt hat. Auch im Alltag ist es nützlich, im Kopf eben mal ausrechnen zu können, wie viel Zeit noch bleibt, bis um 13:07 Uhr der Bus fährt. Wer Mühe hat, die wenigen erforderlichen Regeln als strukturierte Erfahrungen zu speichern, sollte das schon deswegen unbedingt üben, um das Erlernen von Regeln zu lernen. Auch das Lernen will gelernt sein!

3 | *Erfahrungsbasiertes Verhalten* *Kognition und Aktion*

3.1 *Handlung und Wahrnehmung* *Erlebnisse, Diagnose, Adaption*

Ablaufsteuerungen

Von Hochsprachen abgesehen, sind Programme für sequentiell arbeitende digitale Rechner reine Ablaufsteuerungen. Der nächste Schritt folgt jeweils dem im Programm vorangegangenen, es sei denn, ein Sprungbefehl schreibt einen anderen Folgeschritt vor. Diese Sprünge sollte der Programmierer immer von Bedingungen abhängig machen, die er als logische Regel spezifiziert. Hierin besteht die Intelligenz klassischer Rechner; vom Programmierer formuliert! In Kapitel 2 ist beschrieben worden, wie Regeln als Erfahrungen erlernbar sind.

Zur Automatisierung von Arbeitsabläufen in Produktionsanlagen sind digitale Steuerungen verbreitet, die vorzugsweise durch logische Regeln programmiert werden, deren Reihenfolge im Programm für den Ablauf ohne Bedeutung ist. Die Reihenfolge bestimmt lediglich die Priorität, mit der die Regel vom Rechner ausgeführt wird. Aus historischen Gründen sind diese Module *Speicherprogrammierbare Steuerungen* (SPS) genannt worden. Für eine SPS programmiert ein Experte in Anweisungslisten den Ablauf eines Bohrvorgangs nach Abb.3.1 in ähnlicher Weise, wie ein TA den Ablauf als Folge selbständiger Erfahrungen speichern könnte.

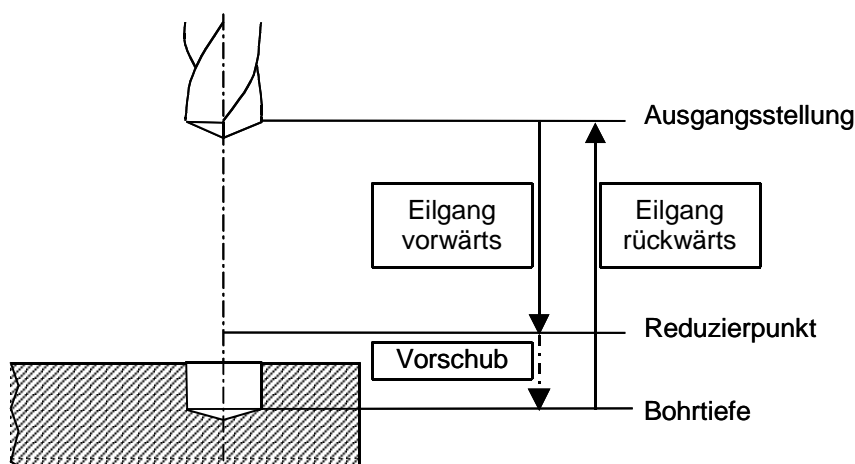


Abb.3.1 In SPS-Programmen sollte der nächste Schritt nicht nur von einer Wahrnehmung, sondern auch von der vorangegangenen Handlung abhängen.

Die zusteuern den technischen Vorgänge betätigen elektrische Schalter, die eine SPS abfragt, um festzustellen, ob eine Bedingung wahr oder falsch ist. Durch Betätigung interner Ein-/Aus-Schalter veranlasst die SPS die programmierte Aktion. Hier werde nur ein Programmschritt betrachtet:

WENN der Bohrer den Reduzierpunkt erreicht, DANN schalte das Getriebe auf die langsame Vorschubgeschwindigkeit, mit der der Bohrer das Loch bohren soll.

Diese Anweisung kann so nicht stehen bleiben, denn sie würde entsprechend Abb.3.1 dazu führen, dass die SPS das Bohrwerk auch bei der Aufwärtsbewegung wieder auf Vorschub schaltet, wenn die SPS wahrnimmt, dass der Reduzierpunkt erreicht worden ist. Das Bohrwerk würde dann nie wieder in der Ausgangsstellung ankommen. In der Bedingung für die Aktion Vorschub muss daher abgefragt werden, nach welcher Handlung die Wahrnehmung des Reduzierpunkts erfolgt ist:

WENN der Bohrer im Eilgang vorwärts (Handlung) UND Reduzierpunkt erreicht (Wahrnehmung) DANN Vorschub ein.

Die Bedingung für jede Aktion einer SPS ist also ein komplettes

Erlebnis:= Handlung + Wahrnehmung.

In der Industrie ist es üblich und wird von den meisten Betriebsleitern vorgeschrieben, einen Schritt erst dann als erfolgreich abgeschlossen zu betrachten, wenn nach der programmierten Handlung die daraufhin erwartete Wahrnehmung gemeldet wird. Aus Sicherheitsgründen wird nicht einfach programmiert: schließe das Heizungsventil. Dieses Ventil könnte ja klemmen oder dessen elektrische Steuerleitung könnte unterbrochen sein, was zu mehr oder weniger großen Schäden führen würde. Daher wird fast immer ein Taster am Ventil installiert und abgefragt, ob das Ventil tatsächlich mechanisch seinen Schließzustand erreicht hat. Erst nach dem kompletten Erlebnis = Handlung + Wahrnehmung ist der Schließvorgang abgeschlossen, und es kann zur Tagesordnung übergegangen werden.

Systemidentifikation

Die Schöpfer der **Kognitiven Psychologie**, Hans Aebli und Ulric Neisser^{viii}, sehen die Kognition, das Erkennen von Objekten und Situationen als interaktiven Prozess. Zunächst wird nach Auffälligkeiten im Wirkungsfeld gesucht. Daraus werden Hypothesen gebildet, denen die erfahrungsgemäß folgende Handlung entnommen wird, um zu testen, ob die daraufhin erwartete Wahrnehmung die Hypothese bestätigt oder nicht.

Hier werden Handlungen mit der darauf folgenden Wahrnehmung zu einem *Erlebnis* zusammengefasst, weil sie gemeinsam der **Identifikation** eines Systems oder eines Prozesses dienen.

Erlebnis:= Organfunktion(Handlung, Wahrnehmung).
 Die Handlung wird quantitativ durch Stelldaten x,y,z spezifiziert,
 die Wahrnehmung durch ein Symbol.

Sofort nach einer Handlung soll auf die angegebene Wahrnehmung gewartet werden.
 Durch diese Wahrnehmung wird dann ein Erlebnis beendet.

Die Stelldaten x,y,z der Handlung werden nur im ersten Erlebnis eines Schemas als Absolutwerte in einem festen Bezugssystem der Anlage angegeben und danach durch die aktuell gemessenen Daten korrigiert, die beispielsweise die tatsächliche Position des zu bearbeitenden Werkstücks liefern. Weitere Stelldaten einer Erfahrung werden auf die aktualisierten Stelldaten des jeweils vorangegangenen Erlebnisses bezogen, damit sich das gesamte Verhalten quantitativ an die Realität adaptiert.

Im erfahrungsgemäß erwarteten Erlebnis des Auges sehe(x,y,z, Hammer) spezifizieren x,y,z die Einstellung des Auges auf die erwartete Lage eines Hammers. Weil der Hammer nie genau dort liegt, wo er erwartet wird, müssen die Lagedaten durch die tatsächliche Einstellung x,y,z des Auges aktualisiert werden. Eine darauf bezogene Handbewegung findet dann den Hammer sofort.

Diese Definition ist kompatibel zur Definition in Kapitel 2:

höre(x,y,z, Wort): x,y,z stellt die Parameter des Gehörorgans auf den erwarteten Klang „Wort“ ein;
 sage(x,y,z, Wort): x,y,z steuert die Sprachmuskeln, und der Sprecher selbst hört den Klang „Wort“.

Wenn es sich nicht gerade um Worte handelt, werden künftig Ketten von Erlebnissen in der oben gegebenen Definition als Fälle in Erfahrungen gespeichert. Damit sind **Handlungs-Wahrnehmungs-Ketten** entstanden. Üblicherweise spricht die Psychologie von Wahrnehmungs-Handlungs-Ketten. Es ist zwar bei logischen Schlüssen nicht zwingend, dass die Handlung als Ursache vor deren wahr-

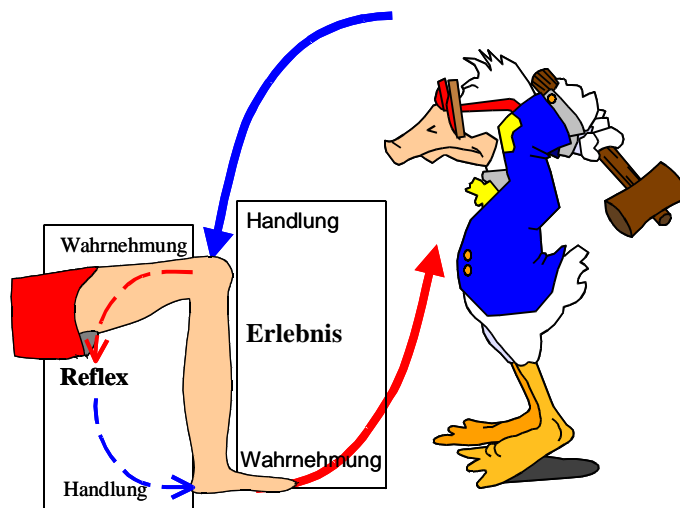


Abb.3.2: Seine Wahrnehmung, dass ein Patient mit dem Bein zuckt, kann der Arzt nur zusammen mit seiner vorangegangenen Handlung diagnostisch verwerten, also als Erlebnis: (Handlung \Rightarrow Wahrnehmung). Der Patient reagiert mit einem unbewussten Reflex: (Wahrnehmung \Rightarrow Handlung).

genommener Wirkung kommt, wie in der Physik. Der Unterschied ist trotzdem nicht rein formal. Wenn man in Abb.3.2 eine eigene Handlung und die daraufhin wahrgenommene Reaktion eines Partners auswertet, kennzeichnet das Ergebnis den Partner. Die Wahrnehmung und die daraufhin gewählte Handlung kennzeichnen hingegen den Handelnden selbst.

Tritt man dem Partner zum Beispiel auf den Fuß, so kann man aus seiner Reaktion auf seinen Gemütszustand schließen. Diese aktive Diagnose ist sehr empfehlenswert! Die Wahrnehmung, dass einem jemand auf den eigenen Fuß tritt, und die Handlung, mit der man selbst darauf reagiert, lässt auf die eigene Stimmung schließen.

Die bisherigen Überlegungen zu Logik, Grammatik, zum Rechnen und zur Ablaufsteuerung waren digital, genauer gesagt binär, geprägt: Erfahrungen und die in ihnen enthaltenen Erlebnisse waren wahr oder falsch, je nachdem, ob sie mit der aktuellen Realität übereinstimmten oder nicht. Es fiel ein bisschen aus diesem Rahmen, dass semantische Ähnlichkeiten durch Wahrscheinlichkeiten quantifiziert worden sind. Hoffentlich ist aufgefallen, dass die Überföhrungsfunktion des Trainierbaren Automaten, die den Kenntnisstand nach einem neuen Erlebnis bestimmt, nur sehr vage spezifiziert worden ist: 'Der Kenntnisstand wird verbessert'. Undeutlicher geht's nicht. Eine Erfahrung im Kenntnisstand müsste durch neue Erlebnisse sozusagen *wahrer* oder *falscher* werden. Auch hier geht es nicht ohne Wahrscheinlichkeiten und ein Minimum an Verständnis für das Wesen von Wahrscheinlichkeiten. Alle Kenntnis unserer Welt ist unsicher und im besten Fall mehr oder weniger wahrscheinlich wahr. Jetzt wissen wir immer noch nicht, wie die Wahrscheinlichkeiten in den Kenntnisstand kommen. Das ist fast wie in einem Krimi: Da erfährt man erst zum Schluss: Wie kam die Leiche in den Fluss?

Assimilation und Adaption

Es gibt Erlebnisse von Organen, die auf das reale Wirkungsfeld einwirken sollen, und Erlebnisse, mit denen Organe über das reale Wirkungsfeld berichten. Das reale Wirkungsfeld umfasst, wie in Abb.3.3 dargestellt, sowohl den eigenen Körper des Menschen oder die technische Anlage, die zu steuern ist, als auch das Umfeld, das sich kooperativ, neutral oder feindlich verhalten kann. Das Umfeld gilt es zu assimilieren, d.h. Durch Veränderung an die eigenen Optimierungsziele anzupassen. Wenn das nicht möglich ist, haben sich Mensch oder Automat notgedrungen an das Umfeld zu adaptieren.

*Gibt mir die Energie, zu verändern, was ich ändern kann,
gibt mir die Geschicklichkeit, mich auf das einzustellen, was ich nicht
ändern kann, und gib mir die Weisheit, diese beiden Fälle zu
unterscheiden.*

Hier ist ein bekanntes Stoßgebet etwas abgewandelt worden, denn es kann nicht optimal sein, einfach zu ertragen, was nicht zu ändern ist, und den Kopf in den Sand

zu stecken. Künftig gelten solche und ähnliche Aussagen sowohl für Menschen, als auch für technische Systeme.

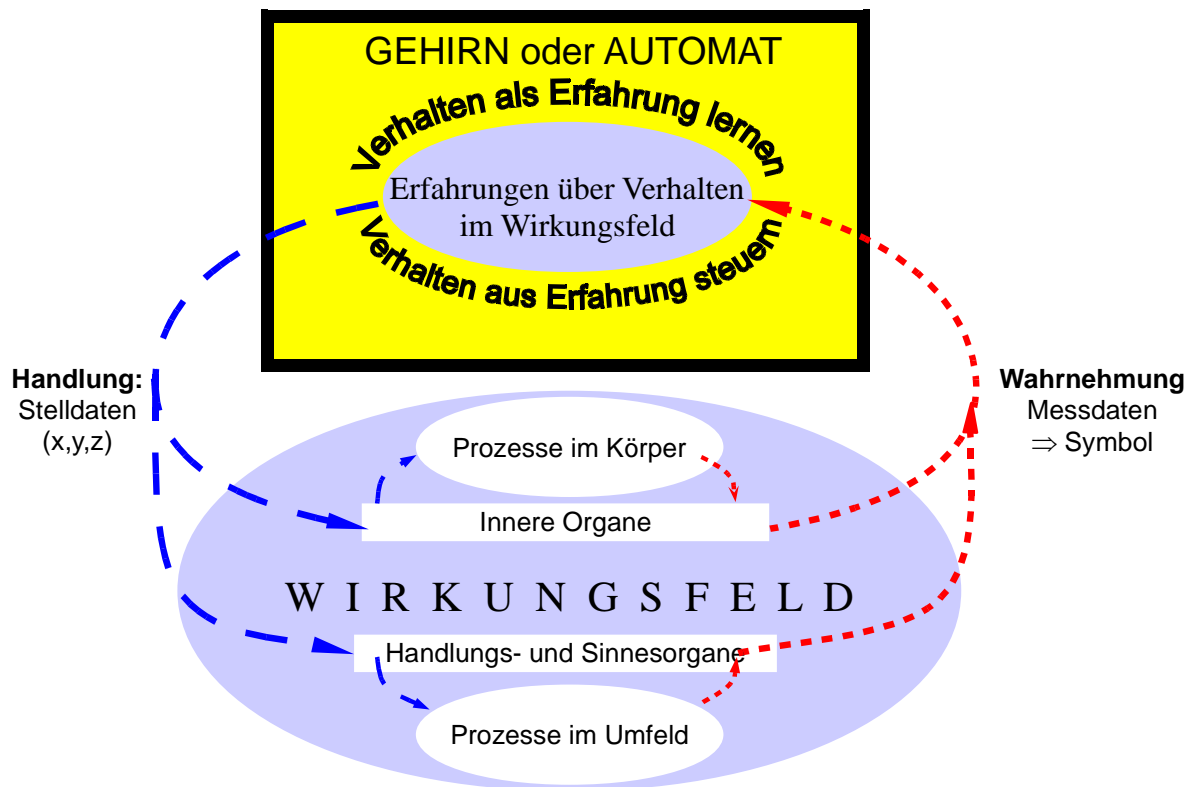


Abb.3.3: Jedes intelligente System verändert in einem geschlossenen Wirkungskreis durch seine Handlungen sein Wirkungsfeld und/oder dessen Wahrnehmung, um den erwarteten Nutzen zu optimieren, der später zu definieren sein wird.

Lernen erfolgt im geschlossenen Wirkungskreis, wobei zur Dokumentation die Kette von Erlebnissen (die jeweils aus einer Handlung und der darauf folgende Wahrnehmung bestehen) als Erfahrung gespeichert wird. Beim Arbeiten werden Erlebnisse aus ähnlichen Fällen vorhergesagt und aktiviert. Daraufhin werden die Erlebnisse an die aktuelle Realität adaptiert und so erneut gespeichert.

Die Wahrnehmung einer Störungsmeldung in Form eines spontanen Schmerzes bzw. eines elektrischen Alarmsignals kann einen Reflex auslösen, der z.B. die Hand von der heißen Herdplatte zurückzieht. Im allgemeinen erregt eine Störungsmeldung zunächst nur die Aufmerksamkeit und unterbricht in Steuerungsanlagen als Interrupt hoher Priorität die laufenden Routineprogramme. Sodann beginnt die Störungsanalyse. Diese wird bei Störungen im Körper nach Möglichkeit schnell abgebrochen und einem Arzt überlassen. Bis der Arzt den Kranken behandeln kann, wird der Patient versuchen, aufgrund seiner Erfahrungen durch Kühlen oder Heizen, vielleicht auch durch Veränderung der Körperlage im geschlossenen Wirkungskreis den Schmerz zu lindern. Bei Störungen in Maschinenanlage ruft der Bediener den Meister oder Betriebsleiter. Bis der vor Ort ist, wird der Bediener versuchen, den Schaden zu begrenzen.

Diagnose und Therapie

Arzt und Meister werden Fragen stellen und Experimente mit dem Kranken veranstalten. Sobald ihr Kenntnisstand eine vorläufige Diagnose ermöglicht, werden sie versuchsweise therapieren. Durch das wahrgenommene Ergebnis der Therapie wird sich ihr Kenntnisstand verändern und die vorläufige Diagnose wird gegebenenfalls verworfen.

Generell erfordert sinnvolles Verhalten zunächst eine Diagnose der Situation oder der in einem System ablaufenden Prozesse, um zu erkennen, welche Erfahrung die Probleme lösen kann. Viele Prozesse in Alltag und Industrie erfordern eine fortlaufende Diagnose, weil sich ihre Struktur oder ihre Parameter immer wieder ändern. Solche Prozesse heißen **zeitvariant**.

Für eine komplette Diagnose muss der Kenntnisstand über den aktuellen Fall schrittweise durch Analyse einer Folge von Erlebnissen verbessert werden. Der nächste Schritt eines optimalen Verhaltens hängt auch bei der Diagnose einer Krankheit oder eines technischen Defekts vom aktuellen Erlebnis und dem jeweiligen Kenntnisstand ab. Automaten reagieren, genau wie Menschen, auf das gleiche Erlebnis von Fall zu Fall verschieden.

3.2 *Auge-Hand-Koordination* *Kooperation von Organen*

Sehe und drücke(Taste)

Zunächst werde ein sehr einfacher Fall der Auge-Hand-Koordination erlernt. Der TA soll an einem Gerät eine bestimmte Einschalt-Taste drücken. Dazu sei er mit einem Kamerasystem ausgerüstet, dem vorher beigebracht worden sei, wie die Ein-Taste aussieht. Dabei sei dem Kamerabild das Symbol Ein-Taste zugeordnet worden. Im allgemeinen ist die Erkennung bzw. Klassifizierung von Objekten keineswegs trivial und wird erst in Kapitel 3.4 behandelt.

Oft ist nur ungefähr bekannt, in welcher Position x,y,z sich die Ein-Taste befindet. Dann heißt die Weisung $\text{sehe}(x,y,z, \text{Ein-Taste})$: Suche in der Umgebung der vorgegebenen Position x,y,z ein Objekt, das Du als Ein-Taste erkennst, melde die tatsächliche Position als Handlung, die Du ausgeführt hast, und das erkannte Symbol Ein-Taste als Wahrnehmung.

Die ganze Erlebnisfolge, die als Erfahrung zu erlernen ist, lautet:

A_1 : $\text{sehe}(x,y,z, \text{Ein-Taste})$ $\text{drücke}(0,0,0, \text{Ein-Taste})$ $\text{sehe}(x,y,z, \text{Kontrolllampe})$ $\text{sehe}(0,0,0, \text{grün})$.

Der TA steuert also die Hand eines Roboters und bringt sie in die von $\text{sehe}(x,y,z, \text{Ein-Taste})$ gemeldete Position. In $\text{drücke}(0,0,0, \text{Ein-Taste})$ wird die Handlung durch die

Lage 0,0,0 relativ zum vorangegangenen Erlebnis angegeben. Die Funktion „drücke“ beinhaltet die Abwärtsbewegung eines Fingers, bis die taktile Wahrnehmung das taktile Symbol Ein-Taste meldet. Zum Organ „Hand“ gehört also eine Erkennung der von den Fingerspitzen gemeldeten taktilen Signale. Wahrnehmungs-Symbole, die von verschiedenen Organfunktionen (siehe, drücke) geliefert werden, wie hier von Auge und Hand, sind natürlich völlig verschieden, werden aber in der Beschreibung von Erfahrungen, wie in A_1 , gleich benannt. Danach wird das Auge in die relativ zu Ein-Taste und Hand erlernte Lage x,y,z bewegt und sucht dort die Kontrolllampe: $\text{siehe}(x,y,z, \text{Kontrolllampe})$. Wenn es die erkannt hat, sollte das Auge in unveränderter Position grün sehen.

Jedes einzelne Erlebnis wartet also, bis die erwartete Konsequenz der Handlung als Wahrnehmung gemeldet wird. Die letzten beiden Erlebnisse prüfen, ob das Gerät funktioniert hat. In der Technik ist diese Absicherung üblich oder sollte üblich sein. Wer sich bemüht, die einzelnen Handlungen und Wahrnehmungen nachzuvollziehen, wird feststellen, dass auch der Mensch nach einer Handlung fast immer auf die Reaktion wartet, bevor er die nächste Handlung beginnt.

Zum Lernen kann der als Lehrer fungierende Experte alle Erlebnisse über Tastatur eingeben. Dann muss er dies allerdings in der in A_1 benutzten oder einer ähnlichen formalen Sprache tun, muss also programmieren, was eigentlich nicht angestrebt wird. In der industriellen Praxis heißt das auf Neudeutsch teach-in. Im play-back-Verfahren hingegen nimmt der Experte das Auge und den Roboter bei der Hand, führt sie nach einander in die richtigen Positionen und betätigt dann an einem Handgerät die Bedienhebel, die den Roboter zum richtigen Tun veranlassen.

Menschen können das visuell beobachtete Verhalten eines anderen Menschen in Handlungen und Wahrnehmungen der eigenen Organe umsetzen und als neue Erfahrungen speichern, um das Verhalten des Lehrers gegebenenfalls nachzuvollziehen. Das gelingt, obwohl sich die Sinnesorgane des Lehrers nicht beobachten lassen. Technisch ist das *Lernen durch Vormachen* nach Kapitel 3.5 in absehbarer Zeit nur in Sonderfällen realisierbar.

In individuell gestalteten Wirkungsfeldern, zum Beispiel im privaten Dienstleistungsbereich, ist diese Art zu lernen jedoch unerlässlich. Weil diese geistige Leistung ganz offensichtlich von jedem Menschen erbracht werden kann, bleibt hier auch für Menschen, die sich nur begrenzt ausbilden lassen, auf absehbare Zeit trotz fortschreitender Automatisierung genug Arbeit. Auf diese Weise lassen sich die Menschen, die mehr leisten können, von einfachen Arbeiten entlasten, und haben dann die Zeit, tatsächlich mehr zu leisten. Wer in diesem Zusammenhang empört von einer *Dienstbotengesellschaft* spricht, erkennt, dass jeder – vom *Minister*, der wörtlich aus dem Lateinischen übersetzt, ein *Diener* ist – bis zum Raumpfleger sich bei seiner Arbeit nach Wünschen und Anweisungen anderer Menschen richten muss.

Sozialprestige kann allerdings nur erwerben, wer sich sich durch Fleiß und Disziplin weiter emporgearbeitet hat.

In der Industrie steuern Menschen die Handlungen von Maschinen und anderen technischen Systemen fast immer durch elektrische Signale. Wenn die dadurch spezifizierte Handlung erfolgreich ausgeführt worden ist, wird ihnen das durch elektrische Signale gemeldet, die der TA unmittelbar wahrnehmen kann. Der TA muss also keine Taster betätigen und keine Signallampen beobachten, sondern kann mit industriellen Anlagen kommunizieren, wie Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) das tun. Das Beispiel war also zwar sehr einfach, aber wieder einmal ohne praktischen Nutzen, wie das einfache Beispiele so an sich haben. Das Beispiel diene aber als Grundlage, um die Art des Wissenserwerbs des TA in allgemeiner Form zu beschreiben.

Erfahrung übernimmt der TA selbsttätig von einem Experten. Das beinhaltet den Erwerb von Wissen über eine Situation oder eine Verhaltensweise einschließlich der selbständigen, geeignet strukturierten Speicherung dieses Wissens im Gedächtnis.

Ein Experte lenkt durch hinweisende Handlungen die Sensoren des TA (z.B. Auge und Ohr) auf die Gegebenheiten, die Aufgabe und Situation kennzeichnen, und führt die im gegebenen Fall optimalen Aktionen aus. Dann lenkt er die Sensoren des TA auf Wahrnehmungen, die das Ergebnis diese Aktionen kennzeichnen.

Diese Darstellung des Lernvorgangs ist sehr allgemein gehalten und umfasst daher auch z.B. die Ausbildung eines Lehrlings durch seinen Meister an einer Maschine mit Hilfe von Hinweisen durch Zeigefinger und Mund: Sieh mal da! Pass auf, gleich ... ! Vorerst wird jedoch von einer digitalisierten Welt ausgegangen, in der Geräte, Maschinen und Anlagen rein elektrisch mit einem Steuerrechner verbunden sind. Mit einem solchen Rechner kommuniziert der Meister über Tastatur und Bildschirm (teach-in). Oder er führt Auge und Hand des Roboters (play-back). Diese elektrische Kommunikation erfasst der Automat und speichert sie.

Sehe und greife(Object)

Die folgende Aufgabe stammt aus der industriellen Praxis und wurde stark vereinfacht. Trinkgläser gleicher Art kommen nach der Fertigung auf einem Förderband ungeordnet aus der Reinigungsstation, sollen von einem Roboter mit einer Kamera geortet und in den nächsten freien Platz, Förderplatz genannt, eines Kettenförderers gestellt werden, der die Gläser zur Verpackung bringt. Da sie dann dort geordnet ankommen, kann sie ein blindes Handhabungssystem in Kartons stellen. Der Meister hat also dem TA die Erfahrung für das folgende play-back zu vermitteln:

höre(zum verpacken) sehe(x_g, y_g, z_g , Glas) greife(0,0,0, Glas)
 sehe(x_f, y_f, z_f , Förderplatz) stelle(0,0,0, leer)

Zunächst wird dem TA die verbale Anweisung erteilt: höre(zum verpacken). Daraufhin bewegt der Meister die Kamera über ein Glas und drückt auf den Knopf „sehe“. Der TA ordnet dem gesehenen Bild nach eigenem Ermessen einen Namen zu, der zwar nicht Glas heißt, aber dieses Glas identifiziert, und übernimmt selbsttätig diesen Namen und die aktuelle Position in das Erlebnis sehe(x_g, y_g, z_g , Glas). Sodann bewegt der Meister die geöffnete Hand von oben in Greifposition, drückt auf den Knopf „greife“. Der Roboter schließt die Finger der Hand um das Glas, ordnet den taktilen Signalen der Fingerspitzen einen Namen zu und übernimmt beides als Erlebnis greife(0,0,0, Glas).

Über den Aufnahmeplatz des Kettenförderers geführt, übernimmt das Auge nach Druck auf die Taste „sehe“ einen Namen, den es dem Bild zuordnet, und die Position in das Erlebnis sehe(x_f, y_f, z_f , Förderplatz). Der Name Förderplatz steht wieder für einen willkürlichen identifizierenden Namen. Der Befehl „stelle“ bewegt den Greifer samt Glas in die erkannte Position, senkt ihn ab und öffnet den Greifer, so dass keine taktile Wahrnehmung mehr erfolgt: stelle(0,0,0, leer).

Nunmehr werde davon ausgegangen, dass Trinkgläser und Becher aus dem jeweils letzten Fertigungsverfahren, dem Rundschmelzen des Mundrandes, in die Reinigungs- und Trocknungsanlage gelangt sind, und jetzt auf dem Förderband stehen, wie sie gerade kommen. Auf dem Förderband stehen sie daher bunt gemischt. Sie sollen erst bei der Verpackung, die von Hand erfolgt, sortiert werden. Dazu nimmt der Meister den TA-gesteuerten Roboter wieder bei dessen Hand und macht ihm als zweite Erfahrung die Behandlung eines Bechers vor:

höre(zum verpacken) sehe(x_b, y_b, z_b , Becher) greife(0,0,0, Becher)
 sehe(x_f, y_f, z_f , Förderplatz) stelle(0,0,0, leer).

Die beiden Erfahrungen zu Glas und Becher unterscheiden sich im visuellen (sehe) und taktilen (greife) Erlebnis der beiden Trinkgefäße, haben aber im übrigen das gleiche Schema. Deshalb werden sie zu einer Erfahrung mit zweistelligem Prädikat nach Kapitel 2.4 vereinigt. Damit die Beschreibung von Erfahrungen nicht zu lang wird, seien zwei Abkürzungen gestattet:

Das logische ODER wird durch das übliche \vee (vom lateinischen vel) ersetzt. Die Handlung wird durch Lagekoordinaten einschließlich Winkel und anderer Einstellungen, wie Bewegungsgeschwindigkeit und Greifkraft, spezifiziert. Diese geordnete Menge von Daten wird durch einen fett gedruckten Buchstaben bezeichnet. Es muss niemanden interessieren, dass man eine solche Folge von Daten auch Vektor nennt. Mit diesen Abkürzungen lautet die Erfahrung, die beide Fälle zusammenfasst:

$A_2 := \text{höre}(\text{zum verpacken}) \text{ sehe}\{(s_g \text{ Glas}) \vee (s_b \text{ Becher})\}$
 $\text{greife}\{(g_g \text{ Glas}) \vee (g_b \text{ Becher})\} \text{ sehe}(s_f \text{ Förderplatz}) \text{ stelle}(\emptyset \text{ leer}).$

In den Ablauf sei eine automatische Prüfstation integriert. Wenn diese Prüfstation feststellt, dass ein Glas möglicherweise fehlerhaft ist, gibt sie dem TA die Anweisung „zum prüfen“. Der TA muss das betreffende Glas dann einem manuellen Prüfplatz zuführen. Dazu wird dem TA die weitere Erfahrung beigebracht:

$A_3 := \text{höre}(\text{zum prüfen}) \text{ sehe}\{(s_k \text{ Krug}) \vee (s_b \text{ Becher})\} \text{ greife}\{(g_k \text{ Krug}) \vee (g_b \text{ Becher})\}$
 $\text{sehe}(s_a \text{ Prüfplatz}) \text{ stelle}(\emptyset \text{ leer}).$

Die Variablenmengen $\{(s_g \text{ Glas}) \vee (s_b \text{ Becher})\}$ und $\{(s_k \text{ Krug}) \vee (s_b \text{ Becher})\}$ haben die Schnittmenge $\{s_b \text{ Becher}\}$. Anscheinend kann der TA das Glas greifen, wie den Becher, und den Becher, wie den Krug. Das veranlasst den TA zu dem semantischen Schluss, er könne alle drei Trinkgläser je nach Bedarf entsprechend Erfahrung A_2 oder A_3 handhaben. Gemäß Kapitel 2, (4), ist dieser Schluss mit einer Wahrscheinlichkeit $p \sim 50\%$ richtig.

Man könnte sich vorstellen, dass der TA zwar den Becher handhaben kann, wie einen Krug, aber ein zartes Glas zerquetschen würde, wenn es mit der Kraft gegriffen würde, die für den schweren Krug erforderlich ist. Das aber kann nicht passieren, denn die Greifkraft wird in den zu Glas und Krug gehörenden Handlungen g_g bzw. g_k den Erfordernissen entsprechend unterschiedlich festgelegt. Deshalb ist hier der semantische Schluss zulässig. Das lässt sich aber nicht allgemein beweisen und dürfte auch nicht allgemein gelten.

Statistische Aussagen können sehr hilfreich sein, aber man muss ihre Voraussetzungen sorgfältig prüfen. Wie dem auch sei. Der Betriebsleiter sollte die Handhabung auf jedem Fall mit je einem kleinen Kollektiv der drei Klassen von Trinkgläsern erproben. Wenn der TA dabei keine Gläser zerdrückt, darf er ihm diese semantischen Schlüsse erlauben.

3.3 *Probabilistisches Schließen* *Wahrscheinlichkeiten, Kenntnisstand*

Wenn der Mensch vor einer Entscheidung steht, muss er sie einerseits auf die Erlebnisse stützen, die er in seinen Erfahrungen gespeichert hat, und andererseits auf seine aktuellen Erlebnisse. Dabei ist er nie so ganz sicher, ob er mit seinen aktuellen Wahrnehmungen die Objekte und Vorgänge in seinem Wirkungsfeld richtig erkannt hat. So war unser Freund in der Savanne, nicht sicher, ob sich ein Löwe oder eine Hyäne an ihn heranschleicht. Ferner umfasst der aktuelle Fall selten die gleichen Erlebnisse, ist also selten identisch mit einem Fall seiner Erfahrungen. Unser mutiger Freund hatte als Junge schon mal einen großen Hund auf sich zukommen sehen und

hat es geschafft, sich dessen Zugriff zu entziehen, aber das war auf einem Bauernhof, also in einem ganz anderen Wirkungsfeld. Auch wenn der Abenteuer tourist in seinem Hinterkopf Erlebnisse über Löwen, Steppen und Bäume in einer Erfahrung findet, die früher einmal zu einem guten Ende geführt hat, so weiß er doch, dass er damals eine Menge Glück gehabt hat, dass also der Erfolg keineswegs sicher, sondern nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu erwarten war. Jeder wird spüren, dass er viele seiner Entscheidungen auf unsicheres Wissen stützen muss.

Viele Erfahrungen führen auch nach zweifelsfrei gleichen Erlebnissen zu unterschiedlichen Folgerlebnissen mit verschiedenen Wahrscheinlichkeiten und Kosten.

Beispiel: Wenn ein Autofahrer ein Gebotsschild sieht, auf dem Umleitung steht, so kann er probieren, ob er dennoch an der Baustelle vorbeikommt, wenn er nicht der Umleitung folgt. Dabei macht er mit unterschiedlicher Häufigkeit zwei Erfahrungen mit verschiedenen Kosten. Kommt er bei insgesamt 10 Fällen in 3 Fällen an der Baustelle vorbei und muss in 7 Fällen umkehren, so betragen die Wahrscheinlichkeiten 30% bzw. 70%.

Diese bedingten Wahrscheinlichkeiten dafür, dass eine von mehreren Erfahrungen richtig ist, wenn ein bestimmtes Erlebnis auftritt, müssen in die jeweiligen Erfahrungen aufgenommen werden. Dadurch erhalten die häufigeren Erfahrungen ein stärkeres Gewicht.

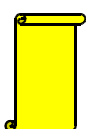
In diesem Kapitel sollen Wahrscheinlichkeiten in die Schlussweise des TA einbezogen werden und im Kenntnisstand für jeden möglichen Fall angeben, wie wahrscheinlich er nach aktueller Kenntnis die Realität richtig beschreibt. Das wird **probabilistisches Schließen** genannt^{ix}.

Diese Art zu schließen kann sich eine Richter nicht erlauben. Dem darf es nicht genügen, wenn er aufgrund unsicherer Erlebnisse und Erfahrungen zu dem Schluss kommt, der Angeklagte sei mit einer Wahrscheinlichkeit $p = 80\%$ schuldig. Ist der Mann nun schuldig, ja oder nein? Im Zweifel für den Angeklagten!

In seinem Buch „Die Kunst des klaren Denkens“ analysiert Rolf Dobelli^x 52 Denkfehler. Davon sind viele auf falschen Umgang statistischen Erfahrungen zurückzuführen. Diese Erfahrungen entspringen oft unausgewogenen und daher nicht repräsentativen Stichproben.

Beispiel: Die Medien zeigen nur die wenigen in einem Berufsfeld erfolgreichen, nicht die vielen trotz fleißigen Strebens im Dunkel gebliebenen. Wahrgenommen werden daher mehr erfolgreiche, als erfolglose. Daraus darf man aber nicht auf große Erfolgschancen eigenen Bemühens schließen.

Denkfehler entstehen oft, wenn Erfahrungen in die Zukunft extrapoliert werden. Das Leben ist kein stationärer stochastischer Prozess, d.h. Mittelwerte, Streuungen und andere Parameter statistischer Verteilungen können morgen ganz anders sein, als heute. Vorhersagen führen daher zu Wunschdenken oder zu Hoffnungslosigkeit.



Vor Denkfehlern bei Umgang mit Wahrscheinlichkeiten und beim probabilistischen Schließen wird gewarnt: Nicht repräsentative Stichproben und unerlaubte Prognosen.

Die im folgenden geschilderten Konzepte stammen aus der Automatisierungstechnik. Zur Führung einer großtechnischen Anlage, wie einer Brauerei oder eines Drehrohrofens zum Brennen von Zement, ist viel Expertenwissen erforderlich. Tagelang laufen solche Prozesse völlig stationär und störungsfrei, so dass der Anlagenfahrer gelangweilt vor seinem Steuerpult sitzt und sich freut, wenn er noch zwei Leute zum Skat findet. Plötzlich aber überschreiten oder unterschreiten kritische Prozessdaten zulässige Grenzwerte. Das muss durchaus nicht immer auf Fehler in Systemkomponenten zurückzuführen sein. Bei zeitvarianten Prozessen können sich Betriebsbedingungen, wie die Rohstoff- oder Brennstoffeigenschaften, geändert haben, oder unvermeidbarer Verschleiß macht sich bemerkbar. In einer Kugelmühle nutzt sich zum Beispiel die Stahlkugel in Laufe der Zeit ab. Wie schnell das geschieht, hängt von der Härte des Mahlguts und dem Füllungsgrad der Mühle ab.

Kurz und gut, der Anlagenfahrer muss wissen, wie er zu handeln hat, wenn Veränderungen relevanter Betriebsdaten oder eine Alarmglocke seine Aufmerksamkeit einfordern. In einfachen Fällen genügt ein trainierter Reflex, der z.B. auf die Wahrnehmung fallender Temperatur die Brennstoffzufuhr erhöht. Andere Fälle erfordern einen Experten. Wenn der Anlagenfahrer kein Experte ist, muss er seinen Chef notfalls aus dem Bett holen. Der Experte verändert durch seine Handlungen die Stellgrößen und nimmt wahr, mit welchen Messwerten der Prozess darauf reagiert. Dazu nutzt er Erfahrungen, die den Prozess in früheren Fällen in den optimalen Betriebsbereich zurückgeführt haben. Was der Experte tut, soll natürlich die Systemeinstellung verbessern. Für den Fall, dass dies nicht gelingt, dient sein Tun immerhin der Diagnose: Andere Erfahrungen, die er für andere Störfälle gewonnen hat, werden in seinem Kenntnisstand dominierend und übernehmen die Prozessführung. Ein Arzt geht ähnlich vor.

Genau so kann der TA seine Erfahrungen einbringen und sich dadurch nützlich machen. Damit er das kann, muss er natürlich erst einmal Erfahrungen gewonnen haben. Heute werden fast alle größeren Anlagen über Bedienpulte und Bildschirme gefahren, so dass alle Stell- und Messgrößen elektrisch verfügbar sind; auch für den TA. Der schaut beim Lernen dem Experten vor dem Bedienpult so zu sagen elektrisch über die Schulter, indem er registriert, wie der Experte handelt und was er daraufhin wahrnimmt. Das fügt er in Abb.3.4 jeweils zu einem Erlebnis zusammen. Darin wird jetzt die Menge von Stelldaten als Handlung x und die Menge von Messdaten als Wahrnehmung y bezeichnet.

*Wenn einer,
der mit Mühe kaum
gekrochen ist
auf einen Baum,*



*Wenn einer
über's Denken denkt,
er wisse,
was das Denken lenkt,*

*schon meint,
dass er ein Vogel wär' -*



*und meint,
dass er unfehlbar wär' -*

so irrt sich der!

Wilhelm Busch



so irrt sich der!

Der Autor

Eine Kette von Erlebnissen bildet einen Fall, den der TA als Erfahrung in sein Langzeitgedächtnis übernimmt. Nicht nur erfolgreiche, auch negative Erfahrungen können später nützlich sein.

Ist eine neue Anlage gleicher Art in Betrieb zu nehmen, so kann der Betriebsleiter versuchsweise dem TA von Anfang an die Prozessführung übertragen. Der muss dann zunächst alte Erfahrungen von anderen Anlagen nutzen, muss sie langsam vergessen und durch neue ersetzen. Das muss auch der Mensch tun, der sich als Experte fühlt. Auch ein Mensch merkt, dass manche alte Erfahrung, wie bei einem neuen Auto, nicht mehr so recht angemessen ist, und adaptiert seinen Erfahrungsschatz mehr oder weniger schnell.

Jetzt ist der TA also ein Experte, sollte sich aber nicht nur seines Wissens freuen, sondern es einsetzen und verbessern. Wenn er beim Arbeiten etwas auffälliges wahrnimmt, handelt er oft reflexartig. Ein solcher

Reflex: Wahrnehmung \rightarrow Handlung

kennzeichnet den Experten am Prozesspult, sein Temperament und seine Gemütsverfassung, nicht aber den Prozess. Für den ist charakteristisch, wie er auf die steuernde Handlung reagiert. Das

Erlebnis: Handlung \rightarrow Wahrnehmung

analysiert der TA nach Abb.3.5. Dabei vergleicht er die einzelnen Stelldaten seiner Handlung x und die einzelnen Messdaten y seiner Wahrnehmung mit den entsprechenden Werten in den Erlebnissen seiner Erfahrungen.

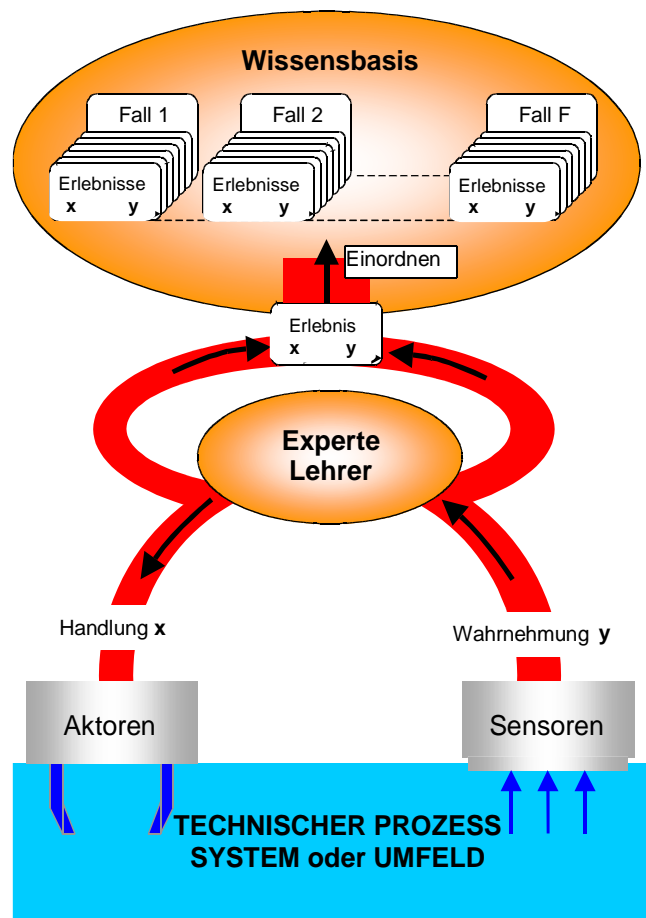


Abb.3.4: Lernen: Der TA schaut dem Lehrer elektrisch über die Schulter und ordnet die Erlebnisse in seine Erfahrungen ein.

Wenn er beim Arbeiten etwas auffälliges wahrnimmt, handelt er oft

reflexartig. Ein solcher

Die einzelnen Messdaten, die in y zusammengefasst sind, lassen sich als Koordinaten eines Punktes in einem viel-dimensionalen Raum auffassen. In Gedanken stelle man sich y im dreidimensionalen Raum vor. Dort findet der TA Stützpunkte, für die er

Namen, Nummern oder andere Symbole erlernt hat, und die in seinen Erfahrungen jeweils eine **Klasse** von Messdaten repräsentieren, auf die ähnlich zu reagieren ist. Die zum aktuellen y nächstgelegenen Stützpunkte sind die ähnlichsten, und deren Symbole werden den aktuellen Messdaten mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit zugeordnet. Der TA wählt also die nächsten Nachbarn unter den erlernten Messdaten aus. Der Kehrwert ihres Abstands von y kann bei der Adaption des Kenntnisstands für alle Fälle, die das Erlebnis mit der Wahrnehmung y enthalten, als Maß für dessen Wahrscheinlichkeit gelten. Der Vergleich wurde für y geschildert und erfolgt für x in fast gleicher Weise.

Es mag einleuchten, dass man den nächsten Nachbarn für den ähnlichsten halten kann. Wer sich im weiteren auf keine Theorie stützen möchte, ist völlig frei, *Ähnlichkeit* nach seinem Gusto quantitativ zu definieren. Aber der Begriff *Wahrscheinlichkeit* ist in der Theorie stochastischer Prozesse festgelegt. In der Tat kann der Kehrwert des Abstands nur unter selten erfüllten statistischen Voraussetzungen als

quantitatives Maß für die Wahrscheinlichkeit einer Übereinstimmung betrachtet werden. Weil dieses Maß nur mit größter Vorsicht zu genießen ist, hat die Theorie der Mustererkennung Ähnlichkeitsmaße entwickelt, die mit etwas mehr Berechtigung als Wahrscheinlichkeit zu interpretieren sind.

Was macht nun der TA mit der soeben ermittelten Maß für die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Fall vorliegt, wenn das aktuelle Erlebnis gemeldet worden ist? Er adaptiert den Kenntnisstand, hieß es in Abb.3.5 und im vorletzten Absatz. Erlebnisse

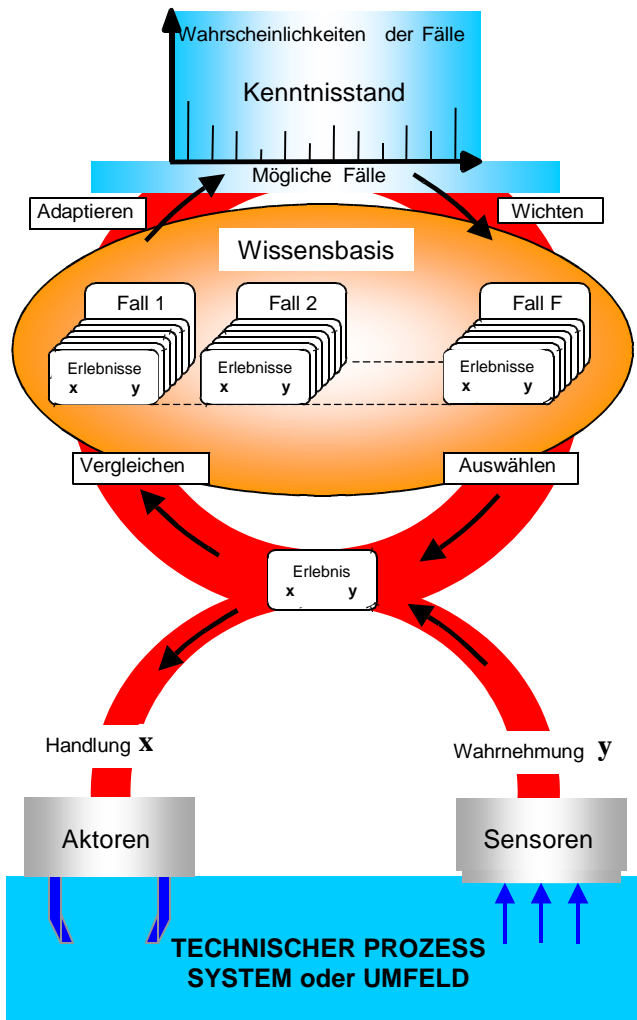


Abb.3.5: Der TA beobachtet, wie der Prozess reagiert, adaptiert durch Vergleich mit gespeicherten Erlebnissen seinen Kenntnisstand und setzt die Erlebniskette der wahrscheinlichsten Erfahrung fort.

aus Erfahrungen erhöhen die Wahrscheinlichkeit des zugehörigen Falls umso stärker, je ähnlicher sie dem realen Erlebnis sind.

In einem Jugendbuch der 50er Jahre, betitelt „Du und die Elektrotechnik“ wird der Aufbau eines Elektromotors in allen Details beschrieben. Danach heißt es: „Dann verbinden wir die Anschlussklemmen mit einer Batterie. Und jetzt geschieht das Wunder: Der Motor dreht sich.“

Ähnliche Qualität hat die bisherige Darstellung der Adaption der Wahrscheinlichkeiten im Kenntnisstand. Doch wäre es hier wenig hilfreich, eine Formel herzuleiten, die aus den jeweiligen a-priori-Fallwahrscheinlichkeiten vor dem neuen Erlebnis die a-posteriori-Fallwahrscheinlichkeiten nach dem neuen Erlebnis berechnen. Würde es sich um echte Wahrscheinlichkeiten handeln, wäre das kein großes Problem. So aber sind schon große heuristische Klimmzüge nötig, damit die sogenannten Wahrscheinlichkeiten zwischen 0 und 1, also zwischen 0% und 100%, bleiben, was man ihnen ja wünschen würde.

Wichtig ist, dass die Fallwahrscheinlichkeiten im Kenntnisstand mit jedem neuen, aktuellen Erlebnis, das die betreffende Erfahrung stützt, asymptotisch gegen 100% gehen. Widerspricht das Erlebnis der erfahrungsgemäßen Erwartung, soll die Fallwahrscheinlichkeit asymptotisch gegen 0% gehen. Das dürfte qualitativ einleuchten. Soviel zur **Überföhrungsfunktion** (vgl. Abb.2.2) des probabilistischen Automaten, die dessen bisherigen Kenntnisstand in Anbetracht eines neuen Erlebnisses in einen neuen Kenntnisstand überföhrt.

Die **Ausgabefunktion** des probabilistischen Automaten ist schnell spezifiziert. Der TA sucht im Kenntnisstand den Fall mit der größten Fallwahrscheinlichkeit. Das Erlebnis, das in diesem Fall dem aktuellen Erlebnis folgt, übergibt er als **Weisung** dem zuständigen Organ. Der TA selbst merkt sich diese Weisung als **Erwartung**, die er durch Vergleich mit dem nächsten realen Erlebnis überprüft. Daraufhin adaptiert er seinen Kenntnisstand.

Bei kontinuierlichen Prozessen ist es oft sinnvoll, die Folgeerlebnisse der wahrscheinlichsten Erfahrungen herauszusuchen und die Weisung durch gewichtete Interpolation zwischen deren Stellvektoren zu ermitteln.^{xi} Dann muss man sich nicht entscheiden, kann sich aber auch dabei zwischen zwei Stöhle setzen!

3.4 Begreifen und Erkennen

Auffälligkeit, Syntax von Objektdaten

Zur Vereinfachung wurde im vorangegangenen Kapitel die Menge y der Messdaten als Wahrnehmung betrachtet, und nicht ein daraus durch Klassifikation gewonnenes Symbol y , wie das die Erlebnisdefinition von Kapitel 3.1 vorsieht. Viele Biokybernetiker bezweifeln, dass unser Gehirn mit Symbolen arbeitet. Nachrichtentechniker hingegen sehen in der Zuordnung von Symbolen eine Informationskompression, ohne die selbst die riesige Menge von Neuronen in unserem Gehirn nicht auskommt. Wie dem auch sei; für eine Realisierung auf einem PC sind Symbole besser geeignet, als ein Kontinuum von Messdaten. Daher werden sie künftig wieder benutzt.

Die Wahrnehmung y in einem aktuellen Erlebnis will also erkannt und durch ein Symbol y repräsentiert sein, bevor der Kenntnisstand adaptiert und die beste Weisung erfahrungsgemäß ausgewählt werden kann. In Kapitel 3.2 wurde angenommen, dass es wohl nicht so schwierig sein könne, eine Taste zu erkennen oder ein Trinkglas von einem Becher zu unterscheiden. Im allgemeinen ist die *Erkennung*, also die Zuordnung einer *Kennung*, eines Namens oder eines **Symbols**, zu **Messdaten** aus einem Kontinuum möglicher Werte, jedoch keineswegs trivial. Im Arbeitsgebiet der Mustererkennung bemüht man sich seit vielen Jahrzehnten um eine zuverlässige Erkennung von Bild- und Sprachsignalen. Erkennen heißt hier, die Wahrscheinlichkeit dafür zu ermitteln, dass es richtig ist, aktuellen Messdaten das Symbol einer erlernten Klasse von Messdaten zuzuordnen. Das Problem ist, dass sich die Messdaten von Objekten gleicher Bedeutung, von gleichen Objekten und auch desselben Objekts je nach individueller Ausprägung, Beleuchtung und Perspektive oft erheblich unterscheiden. Dennoch muss ihnen das gleiche, jedenfalls aber kein falsches Symbol zugewiesen werden.

Darum müssen Passfotos den Kopf des Passinhabers in genormter Haltung mit ernster Miene darstellen, auch wenn der Passinhaber dadurch als Verbrecher erscheint.

Ein Objekt lässt sich nicht nur mit dem Auge erkennen. Man kann auch, ohne es zu sehen, nur mit der Hand *begreifen*, welches Objekt auf dem Tisch liegt. Wie beim Blinde-Kuh-Spiel tastet man bei verbundenen Augen mit den Händen über den Tisch, bis die Hand etwas berührt. Das ist dann auffällig. Jetzt suchen die Finger auffällige Kanten und Ecken und *erfassen* mit den Fingerkuppen Messdaten über Schärfe und Neigung einer Kante, sowie Rauigkeit und Temperatur einer Oberfläche. Die Fingerkuppen analysieren also Objektelemente, während Position und Richtung der Finger die Lage der auffälligen Objektelemente relativ zu einander angibt. So entsteht eine syntaktische Beschreibung des Objekts. Je mehr taktile Erlebnisse über ein erlerntes Objekt, dessen Elemente und deren Lage relativ zu einander der TA mit

seinen Erfahrungen vergleichen konnte, desto näher kommen die Wahrscheinlichkeiten im Kenntnisstand dem 100%-Wert, bis der Fall hinreichend klar ist.

Die syntaktische Beschreibung hat sich im Lauf der Evolution auch als Basis der visuellen Objekterkennung durchgesetzt. Die Netzhaut unseres Auges ist in einem großen Gesichtsfeld mit wenigen Rezeptoren pro Fläche besetzt und erfasst dort Bilddaten mit geringer Auflösung. Das reicht aber aus, um festzustellen, wo die Szene auffällige Teile enthält.

Auffällig sind Bildelemente, in denen sich Helligkeit, Farbe oder Textur zeitlich oder räumlich rasch ändern.

Ein Frosch kann unmittelbar vor einem Mehlwurm oder einer anderen Beute verhungern, wenn sich das Beutetier nicht bewegt. Davon sollte unser Freund beim Löwen nicht ausgehen, wenn der ihn als Beutetier ausersehen hat. Der Mann muss sich schleunigst adaptieren, und sei es durch Flucht.

Auffällig sind Kanten und Konturen, also Grenzen zwischen homogenen Bildbereichen. Das Auge sucht Konturen und folgt ihnen, bis sich in Ecken oder anderen Extrema der Konturkrümmung ein Maximum der Auffälligkeit ergibt. Dort extrahiert die Netzhaut Daten über Bilddetails und besitzt dazu in einem kleinen Bereich, der **Fovea**, eine hohe Auflösung. So erstellt das Auge eine **syntaktische Beschreibung**, in der sich quantitative Abweichungen der aktuellen vom erlernten Bildmuster minimal auswirken:

Die **Handlung** x spezifiziert die relative Lage der Bildelemente zu einander. Das minimiert *globale* Fehler. Ein Objekt kann erkannt werden, obwohl es in etwas anderen Lage erlernt worden ist. Perspektivische und andere Verzerrungen wirken sich nicht stark aus.

Die **Wahrnehmung** y spezifiziert die Richtungen der Konturen im Bildelement relativ zu einander. Das minimiert *lokale* Fehler, z.B. durch unterschiedlichen Schattenwurf bei verschiedener Beleuchtung. Es ist anzunehmen, dass y auch Absolutdaten über Farbe und Textur, sowie weitere Merkmale enthält.

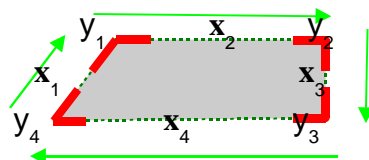


Abb. 3.6: Syntaktische Beschreibung eines Hammerkopfes.

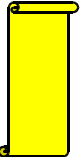
Der Netzhaut des Auges sind Verarbeitungsebenen nachgeschaltet, die speziell zu ihrer Detektion und Verfolgung an Konturen angepasst sind. Deren Funktion ist experimentell nachgewiesen worden. Der visuelle Cortex klassifiziert die visuelle Wahrnehmung, indem er ihr mit entsprechenden Wahrscheinlichkeiten p die Symbole y ähnlicher Wahrnehmungen zuordnet:

$\text{sehe}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{p})$ heißt: der TA sieht in der Lage \mathbf{x} relativ zum vorangehenden Objektelement mit der Wahrscheinlichkeit \mathbf{p} ein Objektelement mit dem Namen \mathbf{y} .

Die einzelnen Erlebnisse der syntaktischen Beschreibung spezifizieren einen Fall, den der TA lernend in seine Erfahrungen aufnimmt, um den Fall später wiedererkennen zu können. Im Beispiel der Abb.3.6 wird der Kopf eines Hammers durch die Erlebniskette beschrieben:

$\text{sehe}(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}_1, \mathbf{p}_1) \text{ sehe}(\mathbf{x}_2, \mathbf{y}_2, \mathbf{p}_2) \text{ sehe}(\mathbf{x}_3, \mathbf{y}_3, \mathbf{p}_3) \text{ sehe}(\mathbf{x}_4, \mathbf{y}_4, \mathbf{p}_4)$

Aus vielen Fällen entstehen hierarchisch strukturierte Beschreibungen, die wir Schemata genannt haben. Syntaktischen Objektbeschreibungen erlernt der TA als Erfahrungen und steuert deren Analyse genauso, wie andere Verhaltensweisen.

 Der TA benutzt für syntaktische Beschreibungen die gleiche Grammatik, wie für logische Aussagen und natürliche Sprache. Dabei arbeitet er mit formaler Logik, Prädikatenlogik und semantischen Relationen. Daher kann er auch bei der Szenenanalyse Analogieschlüsse ziehen.

Da die Bildanalyse viel Zeit benötigt, ist es sinnvoll, diese Aufgabe einem selbständigen visuellen TA zu übertragen, zumal auch im Gehirn hierfür ein spezieller visueller Cortex zuständig ist. Für alternative vergangene, gegenwärtige und erwartete Erlebnisse mit ihren Wahrnehmungs-Symbolen unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit besitzt der TA ein **Kurzzeitgedächtnis**. Wenn der TA feststellt, dass bei dem von ihm gesteuerten Verhalten die aktuellen Erlebnisse nicht mehr den erfahrungsgemäß erwarteten entsprechen, wenn er also auf einem Holzweg ist, auf dem es nicht weiter geht, findet der TA mit Hilfe dieses Kurzzeitgedächtnisses den Weg zurück bis zur nächsten Verzweigungspunkt seiner Erfahrungen. Dort prüft er vorausschauend, wie ein Wanderer, der sich im Wald verirrt hat, die Erfolgsaussichten anderer möglicher Wege und wählt dann einen neuen Weg. Diese Suche in Entscheidungsbäumen bewährt sich generell zur **Korrektur von Fehlverhalten**, wobei Fehlverhalten hier nicht oder nicht nur moralisch gemeint ist.

Im Zuge der Erkennung eines Bildes ist der TA von der wahrscheinlichsten Hypothese in seinem Kenntnisstand ausgegangen. Wenn deren Wahrscheinlichkeit durch neue Erlebnisse abnimmt, werden andere Hypothesen wahrscheinlicher. Der TA geht dann von der nunmehr stärksten Hypothese in seinem Kenntnisstand aus und sollte dabei, um Zeit zu sparen, möglichst weitgehend die Erlebnisse nutzen, die er bereits erfahren und in seinem Kurzzeitgedächtnis gespeichert hat.

3.5 *Beobachten und Lernen*

Passiver Wissenserwerb, Vormachen

Intelligentes Verhalten ist auf möglichst umfassendes Wissen über den eigenen Körper und sein Wirkungsfeld angewiesen. Daher sollten alle möglichen Arten des Wissenserwerbs genutzt werden. Sie sollen im folgenden geschildert werden.

Schon in den ersten Tagen seines Daseins auf Erden, bevor ein Lebewesen Gelegenheit hatte, Wissen zu beschaffen, muss es mit dem zum Überleben erforderlichen Wissen ausgestattet sein. Daher sind einige Verhaltensweisen, Reflexe oder Instinkte genannt, angeboren und werden über die Gene vererbt. Instinkte sind bereits Ketten von Handlungen und Wahrnehmungen, also von Erlebnissen. Es ist davon auszugehen, dass Gene auch im späteren Leben das menschliche Verhalten in charakteristischer Weise bestimmen. Beispielsweise stehen in der Erfahrungsbasis elementare Greifschemata zur Verfügung und können in die Planung von Verhaltensweisen eingebunden werden.

Lernen mit angeborenen Suchstrategien

Von Geburt an stehen dem Baby instinktive Suchstrategien zur Verfügung, um mit der Hand und dem ganzen Körper nach Nahrung zu suchen. Anscheinend wird diese Suche nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum vom Zufall gesteuert, obgleich es in der Technik Strategien gibt, um die Anzahl der Suchschritte zu minimieren. Suchvorgänge mit hinreichend positivem oder negativen Erlebnissen werden als neue Fälle in die Schemata der Erfahrungsbasis aufgenommen. Die positive oder negative Bewertung der Erlebnisse muss für das Kind spürbar sein! Oft aber liegen die negativen Erlebnisse, zu denen ein Verhalten zwangsläufig führen muss, jenseits des Erfahrungshorizonts des Kindes, das zunächst nur Erlebnisse der unmittelbar greifbaren zeitlichen und räumlichen Umgebung erfasst. Dann muss das fehlende, aber für die Bewertung wichtige Ergebnis durch das Erlebnis von Belohnung oder Strafe substituiert werden.

Wenn das Kind mal eben einen Riegel Schokolade aus einem Regal im Supermarkt nimmt und heimlich verspeist, würde es diese Erfahrung wegen des damit verbundenen Genusses sehr positiv bewertet speichern. Die vom Gesetzgeber hierfür vorgesehene Strafe bleibt meistens aus und muss von der Mutter so weit substituiert werden, dass der Vorgang dem Kind insgesamt negativ in Erinnerung bleibt. So kann man dem lieben Kind die Freude verderben! Die moderne Psychologie lehnt Strafen kategorisch ab, und empfiehlt positive Verstärkungen.

Wenn ein Baby satt ist, verfällt es im allgemeinen nicht in Lethargie, sondern fängt an, zu spielen. Außer Hunger und Durst gibt es also offenbar, individuell unterschiedlich ausgeprägt, weitere angeborene Triebe, die den Sinn haben, neue Objekte oder Verhaltensweisen kennen zu lernen. Diese Neugier wird im Verbund mit

Belohnung und Strafe genutzt, um Tiere zu dressieren. Das sollte uns aber nicht grundsätzlich davon abhalten, Menschen auf ähnliche Weise zu trainieren.

Wenn ein Hund auf Befehl zum Herrchen kommen soll, wird das Herrchen ihn nach dem Befehl mit etwas interessantem oder möglicherweise Fressbarem locken und sein Verhalten belohnen oder bestrafen. Noch längere Zeit wird die Erwartung von Belohnung oder Strafe ein Tier veranlassen, einem dressierten Befehl zu folgen. Primitive Tiere kommen nicht über den so vermittelten Wissensstand hinaus.

Lernen durch Vormachen

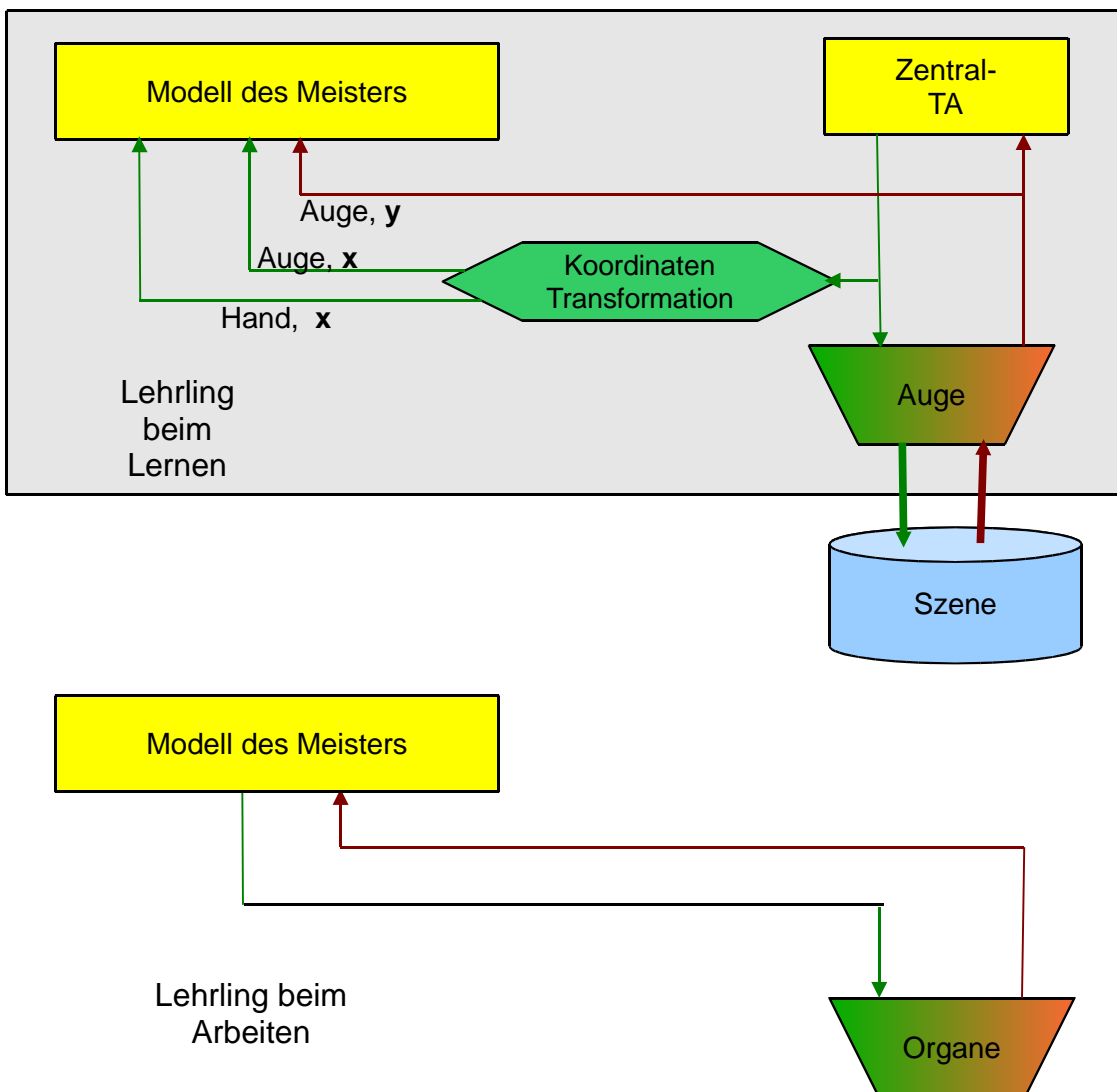


Abb. 3.7: Beim Vormachen eines Vorgangs bildet der Lehrling in seinem Kopf eines Modell des Meisters. Damit steuert er dann seine Arbeit.

In Kapitel 3.3 über Trainierbare Prozessautomatisierung wurden in einer Lernphase Erfahrungen eines Experten übernommen, der mit dem Prozess ausschließlich über elektrische Steuer- und Messsignale kommuniziert, die dabei vom TA erfasst,

verarbeitet und in dessen Wissensbasis gespeichert werden. Roboter lassen sich trainieren, indem ihm der Meister beim Lackieren, Schweißen oder Kleben die Hand führt. Diese Art, optimales Verhalten von einem Experten zu erlernen, lässt sich leider nicht bei allen Vorgängen der Fertigungstechnik einsetzen.

Das Verhalten eines Meisters, von dem er einen Montagevorgang erlernen will, muss ein Lehrling mit den ihm gegebenen Sinnesorganen erfassen, ohne dabei den Meister in seinem Verhalten zu behindern. Seine eigene visuelle Beobachtung fremden Verhaltens muss er nach Abb.3.7 in ein Modell des Meisters, also in ein Schema des fremden, vorwiegend manuellen Verhaltens umsetzen und speichern, um später selbstständig in der Position des Meisters zu agieren.

Das gelingt im allgemeinen nicht in einem Schritt. Zunächst müssen dem Lehrling einzelne Beobachtungs- und Handlungsvorgänge vorgemacht werden, die er in seiner Erfahrungsbasis speichert. Die kann der Lehrling später in komplexere Schemata einbauen. Wie beim Trainieren einer Sprache ist es auch bei der Vermittlung manueller Verhaltensweisen sinnvoll, mit elementaren Vorgängen zu beginnen.

Wenn ein Lehrling die Montage eines Geräts durch seinen Meister jeweils unter einem Blickwinkel beobachtet hat, der das Wichtige erfasst, hat er alle Information über den Vorgang visuell aufgenommen. Letztlich muss er aber sein Auge und seine Hand so koordinieren, wie sein Meister das getan hat. Jemandem, der noch nie eine Schraube und einen Schraubenschlüssel in der Hand gehabt hat, ist sicher die Montage eines Haushaltsgeräts oder eines Möbelstücks nicht als kompletter Vorgang durch Vormachen zu vermitteln. Da hilft oft auch die mitgelieferte Montageanleitung nicht. Völlig unerfahrenen muss man zunächst elementare Aspekte der beteiligten Objekte und deren Handhabung vormachen.

Elementare Verhaltensschritte lassen sich mit angeborenen Suchstrategien, etwa durch Versuch und Irrtum, steuern und optimieren, bis dabei das vorgemachte Ergebnis beobachtet wird.

Elementarschritt: Nachdem es der Meister vorgemacht hat, fummelt der Lehrling die Schraube in ein Loch, bis er die gleiche Szene beobachtet, die er beim Meister als Ergebnis gesehen hat.

Gesamtverhalten: Wenn der Meister im Verlauf einer Montage eine Schraube in ein Loch steckt, erkennt der Lehrling darin die Schemata zweier Objekte und des Vorgangs, der Schraube und Loch in die passende Relation zu einander bringt. Diese Schemata bezieht er in sein Gesamtverhalten ein.

Zwischen den Koordinaten von Auge und Hand von Meister und Lehrling sind nach Abb.3.7 aufwendige Transformationen erforderlich. Dabei muss auch ermittelt werden, worauf der Meister gerade seine Aufmerksamkeit richtet. Durch Vormachen erlernte Erfahrungen werden in gegebenem Fall nachvollzogen und in andere Schemata eingebaut. Ein Verständnis für kausale oder logische Zusammenhänge und eine kreative Erweiterung auf andersartige Aufgaben ermöglichen sie nicht.

3 Die Korrelation zwischen zwei identischen Repräsentanten von weißem Rauschen ist eine δ -Funktion.

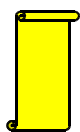
Der Freund hat jetzt also in seinem Kenntnisstand zwei mögliche Verhaltensweisen. Diese wird er vorausschauend simulieren, um festzustellen, ob in seiner momentanen Gemütslage esse(Apfel) oder esse(Birne) zu positiveren Empfindungen führen wird. Entsprechend wird er sich verhalten. Als Freund wird er in Kapitel 6 auch die Empfindungen von Fritz berücksichtigen.

Wer als passiver Zuhörer an einem **Gespräch** teilnimmt und daraus besonders viel Nutzen ziehen will, sollte zwei Erfahrungen anlegen, in denen er sich jeweils mit einem der beiden Fremden identifiziert. Erfahrungen, die interaktiv im verbalem Dialog gewonnen werden, enthalten Regeln über die Reaktionen auf Fragen und Aussagen und sind daher von größerem Nutzen.

Diese prinzipielle Darstellung möge genügen. Weiterführende Überlegungen zur Wissensvermittlung im Unterricht würden der Mitwirkung von Pädagogen bedürfen.

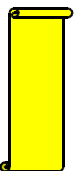
Struktur des erworbenen Wissens

In den bisherigen Betrachtungen wurden Objekte durch eindeutig codierte Namen spezifiziert oder durch andere diskrete Symbole. Diese können in einen PC über Tastatur eingegeben und auf einem Bildschirm oder einem Drucker ausgegeben werden. Da der Trainierbare Automat auf einem PC installiert ist, kann er aus solchen manuellen Ein- und Ausgaben Erfahrungen gewinnen und daraus logische Schlüsse ziehen, ohne eine Ahnung davon zu haben, welche Welt sich hinter diesen Symbolen verbirgt. Dieses abstrakte Denken mag recht geistreich sein. Um die reale Welt zu erleben und sich in ihr zu bewähren, sind Erlebnisse nötig, die aus assimilierenden Handlungen und der jeweils darauf folgenden Wahrnehmung bestehen. Die Datenelemente und Strukturen, in denen das Wissen beim Lernen erfasst und abgespeichert wird, sind bereits beschrieben worden. Hier sollen frühere Definitionen auf das **Wissen** zur Interaktion mit dem **realen Wirkungsfeld** erweitert werden.



Eine **Handlung** wird durch eine Menge verschiedenartiger Stell- oder Steuerdaten spezifiziert, die in einem fett gedruckten **x** zusammengefasst werden.

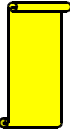
Dazu gehören z.B. Bewegungen der Hand und der Finger im Raum, Greifkräfte und Augenbewegungen.



Zur **Wahrnehmung** benötigen Menschen und Steuerungssysteme Sensoren und deren Signale. In einem früheren Lernvorgang sind Signale gleicher Bedeutung zu Klassen zusammengefasst und durch einen Namen oder ein beliebiges Symbol **y** gekennzeichnet worden.


Zur Erkennung werden einem empfangenen Sensorsignal die Symbole **y** der Klassen zugeordnet, deren erlernte Signale dem empfangenen am ähnlichsten sind. Dabei werden sie nach Kapitel 3.3 je nach Ähnlichkeit mit der Wahrscheinlichkeit **p** gewichtet, dass sie der zugeordneten Klasse, die das Symbol **y** repräsentiert,

tatsächlich angehören. Komplexer strukturierten Objekten werden Namen y nach Kapitel 3.4 syntaktisch zugeordnet, wobei sich auf natürliche Weise Erfahrungsschemata bilden.

 Ein **Organ**, wie Auge oder Hand, bezeichnet zusammenwirkende Aktoren und Sensoren. Es kommuniziert durch Handlungen und Wahrnehmungen mit dem TA.

Dabei kann es sich um ein Organ des menschlichen Körpers handeln oder um technische Stell- und Messglieder. Im Tierreich sind erstaunlich leistungsfähige Organe entstanden, die das Überleben der jeweiligen Spezies im natürlichen Umfeld gewährleisten. Mehr kann man von natürlichen Organen nicht erwarten. Daher ist es nicht verwunderlich, dass menschliche Sinnesorgane an natürliche Grenzen stoßen, wenn sie Daten beschaffen sollen, die während der Evolution zur Anpassung und Optimierung unseres Verhaltens nicht erforderlich waren, heute jedoch das Verständnis unserer Welt erweitern sollen. Seit die Naturwissenschaften nicht mehr zur philosophischen Fakultät gehören, ist das kein philosophisches Problem, sondern ein Problem der Physik und der Messtechnik. Trotz beeindruckender Fortschritte wird unser Wissen über die Welt stets lückenhaft bleiben.


Die Handlung eines Organs, spezifiziert durch die Stelldaten x , wird mit dem erkannten Symbol y der Wahrnehmung und dessen Wahrscheinlichkeit p zu einem Datenelement zusammengefasst, das Erlebnis genannt wird. Das Organ wird darin durch seine Funktion spezifiziert:

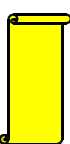
 **Erlebnis**:= Organfunktion(Handlung x , Wahrnehmung y , Wahrscheinlichkeit p).

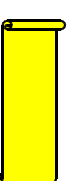
Erlebnis: $\text{sehe}(x, \text{Löwe}, 20\%)$, $\text{sehe}(x, \text{Hyäne}, 80\%)$, das heißt:

Das Auge hat also nach der Handlung, die es auf die Position x ausgerichtet hat, die Wahrnehmung Löwe oder Hyäne.

Später wird das Datenelement *Erlebnis* durch Empfindungen ergänzt, die individuelle Wertmerkmale des Erlebnisses enthalten.

 Ein **Fall** umfasst eine Kette von Erlebnissen, die ein **Verhalten** oder eine **Situation** beschreiben.

 Eine neue Kette von Erlebnissen wird nach Möglichkeit mit einer vorhandenen ähnlichen Erfahrung in einem **hierarchischen Schema** zusammengefasst. So geht sie in eine Erfahrung ein, die viele Fälle umfassen kann.

 In der Kette eines erlernten Falls bildet jedes Erlebnis zusammen mit dessen Vorgängern den Bedingungsteil einer **Regel**, während das Folgerlebnis als Aktionsteil die Weisung für die nächste Handlung und die daraufhin erwartete Wahrnehmung enthält.

Beim Lernen entsteht selbstständig nach festen Gesetzen ein stark vernetztes Schema, das viele Erfahrungen und Regeln zusammenfasst. Beim Arbeiten werden die

dadurch geschaffenen vielfältigen Zusammenhänge nach festen Gesetzen genutzt. Daraus ist zu schließen, dass der TA sich in gleichen Situationen stets gleich verhält, also keinen freien Willen hat. Dem Menschen hingegen würden wir gern einen freien Willen attestieren. Diese Ehrenrettung wird dadurch gelingen, dass in späteren Kapiteln bei Entscheidungen des TA außer Wahrscheinlichkeiten stets auch Wertmerkmale berücksichtigt werden.

3.6 *Optimierung des Nutzens* *Assoziationen, Problemlösen, Agenten*

Wahrscheinlichkeiten und Nutzen

Regeln werden im Laufe dieser Abhandlung immer stärker abgekürzt. In der abstrakten Regel

WENN Löwe DANN fliehe

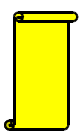
kann die Bedingung nur wahr oder falsch sein. Die Regel

WENN sehe(**x**, Löwe, 90%) DANN fliehe

heißt: In 90% der Fälle, in denen ich einen Löwen sehe, ist es sinnvoll, zu fliehen. In 10% der Fälle mag es zielführend sein, den Löwen laut anzubrüllen. Leider ist nicht bekannt, welche Art von Fällen hier vorliegt. Daher wären weitere Bedingungen für die Verhaltensentscheidung nützlich.

Außerdem beruht die Verifizierung der Bedingungen auf einer sensorischen Wahrnehmung, die nur mit einer Wahrscheinlichkeit p richtig ist. Wenn das Tier bereits so nahe herangeschlichen ist, dass 'sehe(**x**, Löwe, 100%)' ist, nützt die Regel oft nichts mehr. Man muss sich gegebenenfalls bereits zur Flucht entschließen, solange sich der Löwe im Steppengras heranschleicht. Dann ist er nur teilweise, undeutlich und unsicher zu erkennen, und man kann nur sagen, dass es sich mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit p um einen Löwen handeln könnte. In diesem Fall wäre fliehe geboten. Vielleicht ist es aber nur eine Hyäne, die sich zu früh auf eine lecker bereitete Mahlzeit freut. Das wäre dann ein anderer Fall.

Solange der Fall nicht hinreichend klar ist, sollte der mutige Mann seinen Kenntnisstand zu verbessern trachten. Neue diagnostische Erlebnisse, z.B. die Beobachtung der Szene von einem anderen Standpunkt, vergrößern die Stichprobe und damit die Zuverlässigkeit der darauf beruhenden Wahrscheinlichkeiten {sehe(**x**, Löwe, 20%), sehe(**x**, Hyäne, 80%)}. Es ist aber nicht ratsam, zu warten, bis sehe(**x**, Löwe, >50%) ist, denn die zu erwartenden Schäden bzw. Kosten sind im Fall des Löwen wesentlich größer, als im Fall der Hyäne.



Entscheidungen zwischen möglichen Verhaltens-Alternativen optimieren den **Erwartungswert des Nutzens**.

Kosten oder Schäden werden als negativer Nutzen berücksichtigt.

Wie sich der Nutzen quantifizieren lässt und wie dessen Erwartungswert unter Berücksichtigung von Wahrscheinlichkeiten zu ermitteln ist, wird noch ausführlich zu untersuchen sein. Vorerst lasse man sich von der Semantik der Worte leiten.

Die Entscheidung für eine Hyäne wäre zwar nur mit $p = 20\%$ falsch, würde dann aber extremen Schaden verursachen. Darum ist es besser, sich für einen Löwen zu entscheiden, obgleich das mit $p = 80\%$ falsch sein wird. Hierzu wird unter Umkehrung des Vorzeichens das

Risiko:= Erwartungswert des Schadens

minimiert. Offen ist, wie hoch der Löwenfreund den Schaden durch unmittelbaren Kontakt mit dem Löwen einschätzt und wie schädlich er andererseits den Imageverlust durch Flucht vor einer Hyäne bewertet.

Die Erwartungswerte des Nutzens möglicher Fälle bilden die Basis der Entscheidungen des TA. Je größer der Erwartungswert des Nutzens eines Verhaltens, desto größer ist die Motivation für dieses Verhalten. Das Engagement des Handelnden ist wiederum das Produkt aus Motivation und Leistungsfähigkeit. Das gilt übrigens auch für den Nutzen des Lesens von Büchern.

In der Wirtschaft sind Produktivität und Betriebskosten messbar. Zur optimalen Führung technischer Produktionsprozesse werden Qualitätsmerkmale von der Betriebsleitung festgelegt und bewertet, wobei deren Nutzen am Markt oft geschätzt und laufend adaptiert werden muss. Besonders schwierig ist es, Auswirkungen auf Personal und Umwelt in Euro und Cent zu bewerten.

Lebensqualität und Gewissen

Es scheint eine philosophische Frage zu sein, wie im menschlichen Leben Nutzen und Kosten zu ermitteln sind. Welche Qualitätsmerkmale bewerten das Befinden und Verhalten eines Menschen und bestimmen dessen Lebensqualität? Schmerz und Lust sind physiologisch wahrnehmbar. Aber wie werden uns die Auswirkungen unseres Verhaltens auf unser soziales Umfeld bewusst, und wie veranlasst uns das, darauf Rücksicht zu nehmen?

Für diese Aufgaben, die gern dem **Gewissen** zugewiesen werden, werden in diesem Buch **Agenten** postuliert, wie sie als selbstständig arbeitende Programm- oder Prozessmodule in parallel arbeitenden Rechnerstrukturen üblich sind. Sie hören auch auf den schönen Namen *Softbot*. Derartigen Agenten wird in Kapitel 6.3 unterstellt, dass sie in unserem hochgradig parallel arbeitenden Gehirn als Repräsentanten oder Anwälte der verschiedenen Typen unserer lieben und bösen Mitmenschen wirken.⁴ Neu gebildete Agenten greifen zunächst auf unseren eigenen

⁴ Im Kopf von Autisten sind Agenten nicht vorhanden oder ihre Kommunikation mit dem Zentral-TA ist gestört.

Erfahrungsschatz zurück, um vorherzusagen, wie wir selbst auf das reagieren würden, was wir anderen gerade antun wollen. Im Hintergrund, programmtechnisch gesprochen, sammeln die Agenten bei jeder Gelegenheit weitere Erfahrungen über das Verhalten und Empfinden der Mitmenschen, die sie repräsentieren sollen, um es besser vorhersagen zu können. In ihrer Funktion als Gewissen scheint die Evolution diese Agenten mit beträchtlichem Durchgriff auf unsere Entscheidungsprozesse ausgestattet zu haben, denn sie können ganz schön lästig werden.

Die Zusammenarbeit unserer Entscheidungsinstanzen mit den Agenten anderer Menschen in unserem Gehirn ist auch für uns selbst sehr nützlich. Je mehr Erfahrungen diese Agenten über andere haben, desto besser können sie uns deren Verhalten voraussagen, damit wir uns in Verhandlungen und Auseinandersetzungen darauf einstellen können. Diese Agenten wirken folglich sowohl als Anwälte anderer Menschen, als auch als Referenten, die unsere 'Gehirndirektion' in der Zusammenarbeit mit anderen Menschen beraten.

Indem Empfindungen, Gefühle, Gemeinsinn und Lebensqualität wertend in die Entscheidungen über ein optimales Verhalten einbezogen werden, eröffnet sich ein weites philosophisches Feld, auf dem man sich leicht verirren kann. Ein Naturwissenschaftler und Ingenieur möchte dabei nicht den Boden gesicherter Erfahrungen unter seinen Füßen verlieren. Die mentalen Fähigkeiten des Trainierbaren Automaten (TA) bieten jedoch eine tragfähige Grundlage, auf der die folgenden Kapitel getrost einige vorsichtige Schritte in Richtung auf ein tieferes Verständnis von Gehirnfunktionen wagen.

Andererseits soll hier nicht untersucht werden, wie die Gehirnzentrale mit den Agenten kommuniziert und mit welcher Bewertung sie deren Informationen im zentralen Kenntnisstand bei der Auswahl möglicher Entscheidungsalternativen berücksichtigt.

Auch Mörder können durchaus Agenten mit Empathie im Kopf haben. Ihre Gehirnzentrale bewertet dieses Mitgefühl nur zu schwach.

Vorausschau und Planungshorizont

Als Erfahrung gespeicherte Ketten enthalten Erlebnisse in dem begrenzten Zeitraum zwischen dem ersten und dem letzten Erlebnis der Kette. Die Erlebnisse umfassen ein auch räumlich begrenztes Wirkungsfeld und eine begrenzte Menge von Menschen und Objekten. Diese Grenzen in Zeit und Raum bilden einen **Horizont**. Hier geht es zunächst um den Erfahrungshorizont.

Es ist nicht verwunderlich, dass viele Menschen nicht über den Horizont ihrer unmittelbaren Erfahrungen hinaus denken und planen können. Daraus sollte man aber nicht schließen, über die Grenzen des am weitesten reichenden Schemas hinaus ließe sich nicht planen. Für die Erweiterung des Planungshorizonts über den

Erfahrungshorizont hinaus schafft die Kettung von Schemata vielfältige Möglichkeiten.

Innerhalb eines Schemas gibt es logisch, zeitlich und räumlich nur Relationen zwischen Erlebnissen. Diese Angaben gelten also relativ zu einander und nicht absolut. Jedes Schema kann daher in Zeit und Raum beliebig verschoben und in jedes andere Schema an passender Stelle eingesetzt werden. Jedes Schema kann also zu jeder Zeit an jedem Ort aktiviert werden; darauf werden dann alle Zeiten und Orte im Schema bezogen. Der Planungshorizont liegt dort, wo Erfahrungen von hier und heute ihre Gültigkeit verlieren.

Zur Planung von Verhaltensweisen werden zunächst alle vorhergesagten Erlebnisse eines Schemas als verifiziert angenommen. Diese hypothetischen Erlebnisse können wiederum andere, weiterführende Schemata aktivieren. Das lässt sich in beliebige Fernen fortsetzen, wobei freilich die Wahrscheinlichkeit abnimmt, dass diese Vorausschau noch etwas mit der Realität zu tun hat. Wer diese **Vorwärtskettung** von Erfahrungsschemata übertreibt, muss sich nicht wundern, wenn er für einen Spinner gehalten wird.

Kritisch selektiert lassen sich mittels dieser Vorwärtskettung aus den vorhandenen Erfahrungen optimale Wege zusammensetzen, die über den Erfahrungshorizont hinausführen. Die in der Vorausschau am besten bewertete Kette wird als Optimalfall ausgewählt und mit ihren Handlungen und den daraufhin erwarteten Wahrnehmungen ausgeführt. Das kann man freie Entfaltung nennen, muss sich aber bewusst bleiben, dass der Optimalfall aufgrund der jeweils verfügbaren Erfahrungen und deren aktueller Bewertung ausgewählt worden ist. Sobald die erwarteten Erlebnisse ausbleiben, kann man den als optimal gepriesenen Fall getrost vergessen. Wenn erwartete Erlebnisse bestätigt werden, wird der Fall mit seinen Wertmerkmalen in die Erfahrungsbasis aufgenommen.

Es gibt Leute, die interessieren sich für die Vergangenheit. Sei es, dass sie die Ursache einer Situation oder eines Streits erforschen oder ein Verbrechen aufklären wollen. Bei der Abwicklung von Schemata, also beim Parsen, lässt sich die Zeit erfreulicherweise umkehren, um Erlebnisse der Vergangenheit zu rekonstruieren und ins Bewusstsein zu rufen. Diese **Rückwärtskettung** funktioniert so ähnlich, wie die Vorwärtskettung.

Das Ausgraben alter Sünden belebt jeden Ehestreit ganz kolossal.

Oft gilt es, von einer gegebenen Startsituation zu einem vorgegebenen Ziel zu gelangen. Die Ausgangssituation muss dabei nicht die aktuelle Situation sein. Diese Aufgabe lässt sich so weit verallgemeinern, dass sie **Problemlösen** (problem solving) genannt werden kann. Hierfür gibt es verschiedene Strategien. Oft führt die Vor- und Rückwärtskettung zum Erfolg. Das soll ein Beispiel grob erläutern.

Wie komme ich von der Beerdigung zum Klassentreffen? Vom Ort der Beerdigung in der Todesanzeige ausgehend werden schematisch mögliche Wege gesucht. Keiner von ihnen führt im allgemeinen zum Ort des Klassentreffens. Daher ist es oft zweckmäßig, gleichzeitig die vom Ziel Klassentreffen ausgehenden Wege zu verfolgen, bis einer davon in die Nähe eines Weges kommt, der vom Start ausgegangen ist. Zwischen den beiden nächstgelegenen Punkten wird dann wiederum eine Verbindung gesucht. Navigationssysteme im Auto führen uns immer wieder vor, dass sich auf diese Weise optimale Wege finden lassen.

Wird ein hoch bewertetes Erlebnis gemeldet, das nicht erfahrungsgemäß erreichbar ist, so entsteht der Wunsch, dieses Erlebnisses durch zielgerichtetes Verhalten Realität werden zu lassen.

Der Anblick eines begnadeten Kunstwerks kann den starken Wunsch wecken, ähnliches zu schaffen. Der Weg dahin ist meistens umständlich und hart; die Erfolgswahrscheinlichkeit gering.

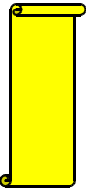
Zur Planung dieses Strebens werden Schemata aus dem Erfahrungsschatz versuchsweise an einander gekoppelt. Eines der so entstandenen Schemata führt möglicherweise in die Nähe des Zieles. Den Rest muss eigene Kreativität schaffen. Das so entstandene Verhaltensschema ist allerdings selten optimal.

Wird erfolgreiches Verhalten bei anderen Individuen beobachtet, so wird es oft planend nachvollzogen und autonom bewertet. Je nach zugeordnetem Wert entsteht daraus der Wunsch, sich ähnlich zu verhalten oder dieses Verhalten zu vermeiden. [„Das möchte ich auch/nie tun!“] Die Bewertung und **Nachahmung** von Fremdverhalten durch Umsetzung in eigene Schemata ist schwierig. Auch hierbei sollten bereits vorhandene Erfahrungen eingebunden werden.


Eine effektive **Belehrung** nach Kapitel 3.5 fordert vom Schüler die Umwandlung verbaler Beschreibungen von Verhaltensweisen [„Dabei greift man ... „] in eigene Handlungen und Wahrnehmungen. Zum Erreichen gemeinsamer Ziele muss eine effektive Führung durch verbal erteilte Anweisungen Mitarbeiter einbeziehen. Befehle eines Vorgesetzten [„Das machst Du so: ... !] sollte man kritisch prüfen. Die darin vermittelten Erfahrungen kann und muss der Untergebene aber stark bewerten. Sonst lässt er sich nicht führen.

Wenn für das angestrebte Verhalten Erfahrungen fehlen, müssen diese **Erfahrungslücken** überbrückt werden. Dazu müssen Erfahrungen darüber, wie das fehlende Wissen durch Gespräche, Bücher oder das Internet zu beschaffen ist, zu einem Verhaltensschema verkettet werden. Das Verhalten zur Informationsbeschaffung, z.B. zur Aufklärung eines Kriminalfalls, lässt sich in seinen Grundzügen erlernen. Es kann sehr komplex sein und muss flexibel an die jeweilige Situation angepasst werden.

Die als Schema gespeicherten Erfahrungen lassen sich generell nutzen, um realen Erlebnissen weitere Erlebnisse in Vergangenheit und Zukunft oder auch an anderen Orten hypothetisch zuzuordnen. Dem Sprachgebrauch folgend können diese Zuordnungen Assoziationen genannt werden. **Assoziationen** umfassen:

- 
1. die Prädiktion und Regression innerhalb von Schemata,
 2. die Aktivierung von Schemata durch semantische Relationen (Analogien),
 3. die Vor- und Rückwärtsverkettung von Schemata.

Bevor im folgenden die Möglichkeiten solcher Assoziationen ausgelotet werden, muss klar gesagt werden, dass nur wenige dieser Möglichkeiten experimentell erprobt werden konnten. In Bezug auf menschliches Denken und Fühlen werden naheliegende, aber völlig unbewiesene Hypothesen aufgestellt, an die man glauben kann oder nicht. Daher wird künftig oft der Konjunktiv oder die Satzform der Frage verwendet.



3.7 *Streiten und Lernen* *Interaktiver Wissenserwerb*

Der Lehrling war in Kapitel 3.5 beim Lernen ein rein passiver Beobachter und schaute dem Meister über die Schulter, damit sich die Perspektive seiner Augen möglichst wenig von der des Meisters unterscheidet. Dabei bildete der Lehrling in seinem Gehirn ein **Modell** des Meisters b.z.w. seines Verhaltens. Dazu hat er die im Koordinatensystem seines eigenen Auges wahrgenommenen Handlungen des Meisters in das Koordinatensystem des Meisters transformiert. In diesen Koordinaten wird der Lehrling die auszuführenden Handlungen benötigen, wenn er selbst in der Arbeitsposition des Meisters dessen Handlungen nachvollziehen soll. Wahrnehmungen der Augensensorik gingen direkt zum Agenten im Kopf des Lehrlings, damit der weiß, ob die Handlungsdaten die Lage z.B. von Hand, Spannvorrichtung oder Werkstück angeben. Verbale Hinweise, z.B. *nur leicht andrücken*, musste der Lehrling in Erlebnisse der Handmotorik übersetzen, bevor er sie seinem Agenten übergibt.

Der erhebliche Aufwand der Transformationen soll hier nicht abgeschätzt werden, weil davon ausgegangen werden kann, dass hierfür im Zuge der Evolution parallele Verarbeitungsstrukturen entstanden sind, die wir zwar nicht verstehen, die aber jeder durchführen kann. Der Lehrling muss sich dabei ganz bewusst in die Lage des Meisters versetzen. Mit welcher Genauigkeit die Koordinatentransformationen erfolgen, müsste experimentell untersucht werden. Das hängt sicher von der individuellen Begabung des Lehrlings ab. Bei manchen sind die Transformationen möglicherweise eher qualitativ nach Art einer verbalen Beschreibung: Die Fräsermitte rechts neben die Rohteilkontur stellen und langsam an die Kontur heranfahren!

Bei der Arbeit koordiniert das Modell des Meisters im Kopf des Lehrlings dessen Auge und Hand. Dieses Modell kann als Agent völlig unabhängig und autonom,

eventuell sogar in einem eigenen Teil des Cortex arbeiten, bzw. auf einem eigenen TA. Dann steht der Zentral-TA simultan für andere Aufgaben zur Verfügung.

Lernen durch Interaktion mit einem Experten

Als ein Meister in Kapitel 3.5 seinem Lehrling eine handwerkliche Tätigkeit beigebracht hat, ließ das zu montierende Objekt alles geduldig und passiv über sich ergeben. Ein Fremder, mit dem wir uns aus irgendwelchen Gründen auf irgendeine Weise auseinandersetzen müssen, ist im allgemeinen keineswegs passiv. Die Wechselwirkung kann kooperativ oder aggressiv sein. Weil körperliche Interaktion anschaulich leichter vorstellbar ist, betrachten wir als Beispiel das harmlose Spiel einer Sportart, wie Fußball, Tennis oder Fechten.

Solche interaktiven Spiele erlernt man am besten mit einem Trainer, der im Hinblick auf andere Aufgaben, wieder Meister genannt werden soll, während der Auszubildende wieder Lehrling heiße. Recht übersichtlich ist das Fechten, weil da kein Ball im Spiel ist, der eine eigene Dynamik besitzt. Der Lehrling muss sich, wie beim Lernen durch Vormachen nach Abb.3.7, in die Person des Meisters versetzen. Dazu muss er die Daten seiner Augenmotorik dem Agenten in seinem Kopf nach den gleichen Transformationen übergeben, wie in Kapitel 3.5. Zusätzlich muss der Lehrling seinem Agenten mitteilen, wie der Meister ihn, den Lehrling, wahrnimmt, denn danach richtet der Meister sein Verhalten, und das will der Lehrling lernen. Das erfordert die zusätzliche Transformation:

Zentral-TA: Körpermotorik(Lehrling) → Agent: Augenmotorik(Meister).

Diese Transformation, mit der ein Lehrling ermittelt, wie der Meister sein Verhalten, also das des Lehrlings sieht, dürfte besonders schwierig sein, weil dabei berücksichtigt werden muss, auf welches seiner Körperteile es der Meister momentan abgesehen hat. Es ist zwar möglich, dass ein Lehrling nur aus seinen Fehlern lernt. Dann wäre aber der Lernerfolg von vielen hervorragenden sportlichen Leistungen kaum zu erklären.

Lernen durch Beobachten von Interaktionen

Ergänzend zum interaktiven Lernen ist rein passives Lernen durch Beobachten der Wechselwirkung zwischen zwei Fremden hilfreich. Auch dabei sollte sich der Lehrling in die Person eines der beiden Fremden versetzen. Als Fußballprofi kann man so ein Modell der Besonderheiten eines potentiellen Gegenspielers gewinnen. Ausschließlich durch Zuschauen ist jedoch noch niemand zu einem guten Fußballer geworden.

Viele Amateure sehen nur den Ball und sind froh, wenn es ihnen gelingt, ihn zu treffen. Sie müssen aber das spezifische Reaktionsverhalten des jeweiligen Gegenspielers kennen und blitzschnell vorhersagen, um daraufhin die nächste Aktion

zu planen und auszuführen. Dazu gehört auch Täuschung. Damit er weiß, wohin er schießen soll, hat ein guter Spieler die erwartete Position fast aller Spieler im Kopf, also ein komplettes Prozessmodell.

Erfahrungsbasierte Vorhersage

Erfahrungen ermöglichen einem TA eine Extrapolation in die Vergangenheit und in die Zukunft. Die Vorhersage des Verhaltens eines Fremden erlaubt es, sich vorausschauend auf dessen Verhalten einzustellen. Dieser Andere muss uns nicht unbedingt im Kampf als Gegner gegenüber stehen. Das Verhalten eines Verhandlungspartners vorherzusehen, und abzuschätzen, wie er auf die eigenen Aktionen reagieren wird, ist ebenso nützlich, wie die schnelle Vorhersage des Verhaltens eines Kontrahenten im Sport. Bei Männern hat sich das im Zuge der Evolution vor Urzeiten bei Kampf und Jagd entwickelt. Frauen mussten vor ihrer Hütte das Verhalten von Kindern, Mägden und Hühnern vorausschauend überwachen und steuern. Wie alle mentalen Fähigkeiten, ist auch die Sozialkompetenz, im eigenen Gehirn fremdes Verhalten vorausschauend zu simulieren, nicht bei allen Individuen gleichermaßen ausgeprägt.

Jeder Agent in unserem Kopf kann genauso selbstständig und unabhängig arbeiten, wie der Zentral-TA, der normalerweise unser Verhalten steuert.

Ein begabter Klavierspieler kann sich nebenbei gepflegt unterhalten. Die Finger werden von einem Agenten in seinem Kopf gesteuert.

Alle Agenten besitzen eigene Kurzzeitspeicher und Erfahrungsspeicher. Sie kommunizieren mit dem zentralen TA und mit einander über Datenleitungen (Bussysteme). Das menschliche Gehirn benutzt dazu elektrische Pulsfolgen auf Nervenleitungen oder chemische Transmitter in Blutadern, vielleicht aber auch Felder, deren physikalische Natur noch nicht erforscht ist.

Über das Verhalten guter Freunde und langjähriger Bekannter haben wir viele Erfahrungen. Einen guten Freund meinen wir zu kennen. Wir kennen einen Menschen erst, wenn wir die Lebenserfahrungen kennen, auf die er sein Verhalten stützt. Damit können wir versuchen, sein Verhalten vorherzusagen. Über Fremde haben wir zunächst keine Erfahrungen. Vielleicht stützen wir uns dann zunächst auf Erfahrungen über Freunde mit ähnlicher Erscheinung und ähnlichem Auftreten. Typen, die wir noch nie erlebt haben, sind uns unheimlich, weil wir sie nicht kennen und daher nicht ahnen können, wie sie sich in gegebener Situation verhalten werden. Daher können wir ihnen auch nicht so vertrauen, wie den bekannten Typen.

Im Geschäftsleben kann man schon durch angepasste Kleidung einen Vertrauensvorschuss bei seinen Gesprächspartnern gewinnen.

Dieser Mangel an Vertrauensvorschuss mag eine gewisse Unsicherheit gegenüber Ausländern erklären, insbesondere gegenüber solchen mit völlig ungewohntem

Erscheinungsbild. Zum vertrauensvollen Umgang mit ihnen bedarf es erhöhter Risikobereitschaft. Das gilt insbesondere dann, wenn wir einer großen Gruppe von Ausländern gegenüber stehen, denen wir eine größere Affinität zu einander als zu uns selbst als Fremdem unterstellen.

In Anbetracht des großen Nutzens dürfte der erforderliche Aufwand der Implementation von einem oder mehreren Agenten mit Fremderfahrungen nicht im Wege stehen. Das Gehirn hat genug Neuronen für eine echte Parallelverarbeitung. Daher wird das Gehirn auch nicht alle alternativen Fälle, die entsprechend dem Kenntnisstand in der aktuellen Situation in Betracht zu ziehen sind, vorausschauend nach einander abarbeiten, um den erwarteten Nutzen zu ermitteln. Dies geschieht ganz sicher parallel. Klassische Rechner lösen solche Aufgaben durch prioritäts-gesteuertes Multitasking.

Die Fähigkeit zu paralleler Verarbeitung ist für den praktischen Einsatz des TA ohnehin unverzichtbar. Bisher wurde aus dem Erfahrungsschatz jeweils ein einziger Fall zur Reproduktion ausgewählt. Die Abwicklung eines Falls, der ein langfristiges Verhalten mit längeren Wartezeiten beschreibt, kann in der Realität Tage oder Wochen dauern. Gleichzeitig gibt es kurzfristige Aufgaben höherer Priorität. Daher stehen immer mehrere Fälle als Tasks an. Frauen haben möglicherweise mehrere Prozessoren für eine echte **Parallelverarbeitung**. Männer haben vielleicht nur einen Prozessor und müssen jeder Task eine ihrem Nutzen entsprechende Priorität geben.

Verhaltensmodelle anderer Menschen, die in einem Agenten in unserem Gehirn implementiert sind, um deren Verhalten zu erlernen oder zu simulieren, lassen den Gedanken an einen souveränen Steuermann, einen Homunkulus, oder gar mehrere Exemplare dieser Spezies aufkommen, die in unserem Gehirn absolutistisch wirken. Doch geht es hier nur darum, viel geistige Arbeit möglichst effektiv auf parallel arbeitende Automaten aufzuteilen, damit unser Gehirn rechtzeitig auf aktuelle Erlebnisse reagieren kann. Spezielle Agenten sollen unserem Zentral-TA Informationen und Vorhersagen über das Verhalten von Personen und anderen Objekten in unserem Wirkungsfeld liefern.

In automatischen Prozess-Steuerungen laufen solche Modelle der zu steuernden Prozesse oft im Hintergrund mit, um Störungen im Prozess sofort zu entdecken. Andere Agenten sagen die Auswirkungen steuernder Handlungen vorher. Das ist sehr nützlich, um den Prozess zu beherrschen.

Semantische Relationen erlauben Analogieschlüsse, die für Generalisierungen, Fantasie und Kreativität notwendig, wenn auch sicher nicht hinreichend sind.

Der TA prüft durch Vergleich, ob das vorhergesagte Erlebnis mit der Realität übereinstimmt. Wenn das nicht der Fall ist, verwirft er im Kenntnisstand den Fall, auf der die Vorhersage basiert hat. Das kann er auch bleiben lassen und kann das vorhergesagte Erlebnis ohne prüfenden Vergleich mit der Realität als wahr ansehen.

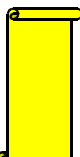
Mit solchen hypothetisch gebildeten Erlebnissen lassen sich weitere Erfahrungen aktivieren, deren hypothetische Erlebnisse ohne Prüfung wiederum für real gehalten werden können. Unkontrollierte Analogieschlüsse sind vielleicht der Motor von **Kreativität**, vor allem aber von **Träumen**.

Es ist durchaus möglich, dass neue Erfahrungen erst nachts, wenn alles ruht, in eine Schemastruktur gebracht und dabei ins Langzeitgedächtnis übernommen werden. Es ist aber, Gott sei Dank, nicht zu befürchten, dass dabei der Quatsch wilder Träume als Erfahrung für eine intelligente Steuerung künftigen Verhaltens bereitgestellt wird.

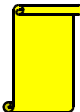
3.8 *Jetzt sind wir aber schlau* *Intelligenz und Bewusstsein*

Intelligenz

Es ist sicher überheblich, die bisher geschilderte Art logischen Schließens und Generalisierens bereits als Denken zu bezeichnen. Die geschilderten Konzepte sollten darlegen, dass sich wesentliche Elemente der Logik des Denkens und der dazu im Kern äquivalenten Grammatik einer Sprache grundsätzlich aus Beispielen erlernen lassen. Um zu beschreiben, wie diese bei Kleinkindern so perfekt ausgeprägte Fähigkeit im TA implementiert ist, wurden die Gesetze (1) bis (6) formuliert. Diese Gesetze seien hier kurz und stark vereinfachend zusammengefasst:

 Eine Erfahrung ist eine Kette (UND, Regeln) von Erlebnissen, die variabel (ODER) sein und wiederum ganze Erfahrungen umfassen können (Hierarchie). Zwischen Variablen bestehen Schnittmengen (Semantik) und Partnerschaften (Prädikate).


Der Trainierbare Automat TA realisiert zweifellos nur einen kleinen Teil unserer mentalen Fähigkeiten, und bisher auch nur unvollkommen. Für die Automatisierungstechnik sind diese Fähigkeiten nützlich, und der TA sollte an der Aufgabe gemessen werden, die in Kapitel 1 formuliert worden ist:

 Das Gehirn muss, genau wie ein technisches Automatisierungssystem, in einem Wirkungsfeld, das sich fortwährend verändert, die aktuelle **Situation erkennen** und das Steuerungsverhalten möglichst optimal daran **anpassen**.

Je optimaler es diese Aufgabe löst, desto intelligenter ist ein System. Intelligenz ist natürlich ein quantitatives Maß. Ob der Intelligenzquotient, der IQ, ein gutes Maß ist, steht hier nicht zur Debatte. Jedenfalls scheint es nicht sinnvoll, zu sagen, ein System sei entweder intelligent oder nicht. Ein wenig Intelligenz wird man dem Trainierbaren Automaten sicher zubilligen.

Gehirn und TA haben ein System möglichst optimal zu steuern. Dazu ist es

unumgänglich, festzulegen, welche Empfindungen und Wertmerkmale als Zielgrößen zu optimieren sind. Das wird in späteren Kapiteln analysiert. In der Informatik geht es nicht um die Optimierung von Empfindungen und Wertmerkmalen. Daher hat einer der Väter der Künstlichen Intelligenz, Alan Turing, definiert:

 „Ein System ist **intelligent**, wenn ein Mensch sich mit ihm rein verbal unterhalten kann, ohne zu bemerken dass dieses System kein Mensch ist“.

Es wäre schön, ist aber nicht überprüft worden, wenn der TA auch dieses Intelligenzkriterium erfüllen würde. Um das festzustellen, sollte der Mensch einem System wie dem TA neue Situationen und Fälle verbal schildern und dieses Wissen anschließend in anderen Zusammenhängen hinterfragen. Diesen Test kann ein System nur bestehen, wenn es die verbal geschilderten Fälle mit realen Erlebnissen verknüpfen, autonom erlernen und im Kontext mit seinen Erfahrungen flexibel nutzen kann.

Realisierung

Die in den Paragraphen dieses Kapitel 2 formulierten Regeln spezifizieren das besondere **Betriebssystem** des Trainierbaren Automaten TA. Ein Betriebssystem wird als Grundausrüstung mit jedem Rechner ausgeliefert und muss auch unserem Gehirn bei der Geburt mitgegeben worden sein. In frühe Digitalrechner wurde das Betriebssystem als fest verdrahtete Hardware eingeschoben. Im Gehirn dürfte es neuronal fest verknüpft sein. Das *angeborene* Betriebssystem des TA generiert gemäß (1) bis (6) selbstständig die logischen Verknüpfungen von Erlebnissen, erklärt auf diese Weise wichtige Fähigkeiten unseres Gehirns und macht einige Denkprozesse verständlich. Es verwundert nicht, dass Neurowissenschaftler diese Strukturen und Regeln bisher nirgendwo im Gehirn entdecken konnten. Das dürfte daran liegen, dass sie fern der Organperipherie irgendwo im Inneren des Cortex wirken. Dort wird alles gestreut gespeichert, ist also nicht an einem bestimmten Ort lokalisierbar und ist vielfältig mit einander vernetzt.

Die gestreute Speicherung verteilt jede Informationseinheit, beispielsweise jedes Bit, in der physikalischen Realisierung auf einen größeren Speicherbereich. Daher konnte nachgewiesen werden, dass Ausfälle und Verletzungen kleiner Speicherbereiche keine Information völlig zerstören. Sie lässt sich nur nicht mehr so sicher auslesen, weil das Signal/Rausch-Verhältnis gesunken ist. Das gilt übrigens auch für die Datenspeicherung in Hologrammen.

Elemente und Strukturen für die Speicherung und Verarbeitung von Wissen lassen sich locker abstrakt definieren. Natürlich kann man sie digital implementieren, wie das im TA geschehen ist. Aber wachsende Quantität des Wissens kann zu qualitativen Problemen führen, die eine neue Technologie mit anderen Qualitäten fordern. Die Verfahren zur Implementierung der genannten Fähigkeiten werden in den Paragraphen des Kapitel 2 durch Regeln beschrieben, die sequentiell abgearbeitet werden, wie in den guten alten Digitalrechnern. Das ist am ehesten nachvollziehbar.

Für eine hinreichend schnelle Verarbeitung der in dieser Welt erforderlichen Mengen von Erfahrungen, Ausnahmen und Sonderregeln sind Digitalrechner jedoch überfordert. Hierfür müssen Quantenrechner, vorzugsweise aber Technologien zur Anwendungsreife entwickelt werden, die vom Prinzip her parallel arbeiten. Dazu gehören künstliche **Neuronale Netze** mit elektronischen Kopplungen zwischen den Neuronen. In natürlichen neuronalen Netzen wachsen die Verbindungen zwischen Neuronen chemisch gesteuert, wobei sie mit einer gewaltigen Menge verschiedenster Proteine^{xiii} kooperieren. Das dürfte technisch auch künftig schwer zu realisieren sein. In **holographischen** Assoziatoren^{xiii} werden viele Verknüpfungen gleichzeitig durch Interferenz von Wellenfeldern erzeugt.

Überlegung

Nachdem der kühne Forscher, den wir in der Savanne getroffen haben, die Begegnung mit dem Löwen lebendig überstanden hat, setzt er seine Expedition in unerforschtes Land fort. Er orientiert sich an Sonne und Sternen und folgt dann der Erfahrung, dass der trapezförmige Berg da vorn immer fast in Marschrichtung liegt. Als er an einen breiten Fluss gelangt, blickt er unter seiner Hand suchend umher. In Romanen findet sich erfahrungsgemäß irgendwo am Ufer ein Boot. Doch liegen nicht an jedem Fluss Boote herum, in die sich jeder Filmheld ohne Rücksicht auf Eigentumsrechte behände hinein schwingen könnte. So lassen den spähenden Forscher seine terminalen Erfahrungen im Stich, und er beginnt, zu überlegen. Dazu durchwühlt er seinen Kopf nach Regeln, die er irgendwann von erfahrenen Buschleuten gehört oder in Büchern gelesen und als verbale Erfahrungen gespeichert hat. Dort, wo der Fluss breit ist und schnell fließt, könnte eine Furt sein. Eskimos bauen sich flugs ein Boot aus herumliegenden Baumresten. Unser Forscher schaltet also sein Denken von phänomenologischem auf theoretisches Wissen um, das er dann mittels eigener Erfahrungen an die gegebene Realität anpasst.

Wir werden oft durch Erfahrungen geführt, die auf die Realitäten des Wirkungsfeldes gegründet sind und denen wir gedankenlos folgen. Dabei folgen wir auch mal einem Weg, der sich schließlich als Irrweg erweist und zur Umkehr zwingt. Auf den Hauptweg zurückgekehrt, geht es munter erfahrungsgemäß weiter. Bisweilen aber halten wir inne, schauen uns um und stellen fest, dass wir nichts mehr wahrnehmen, was sich in unseren Erfahrungen auffinden ließe. Dann beginnen wir, zu überlegen. Dabei ordnen wir unseren Wahrnehmungs-Erlebnissen die dazu passend erlernten Symbole von Worten und Sätzen zu und beginnen, auf dieser mehr abstrakten und theoretischen Ebene, zu assoziieren und zu planen.

In vergleichbarer Situation befinden wir uns auch, wenn wir nach unbefriedigenden Erfahrungen mit unserer bisherigen Arbeitsstelle eine Entscheidung über eine Alternative treffen müssen; ohne Erfahrung über das, was uns in der neuen Position erwartet. Das wenige, was wir im Internet und im Vorstellungsgespräch in Erfahrung bringen konnten, nutzen wir, so gut wir können, als Grundlage unserer Überlegungen. Deren Formalisierung in Entscheidungstabellen kann hilfreich sein.

Für Worte - ob gehört, gesagt oder gelesen - passt der Begriff *Erlebnis* nicht so recht, denn mit diesem Begriff verbinden wir Wertmerkmale bzw. Empfindungen.

Außerdem sind akustische und optische Wort-Erlebnisse i.a. nicht unmittelbar auf der Realität des Wirkungsfeldes gegründet (*grounded*). Es sei aber nicht vergessen, dass auch rezeptive Organe nicht nur eine Wahrnehmung liefern, sondern vorher durch eine Handlung an das erwartete Wort adaptiert worden sind.

Als es in Kapitel 2 um rein sprachliche Kommunikation und deren Grammatik ging, war kein Bezug zum realen Wirkungsfeld vorhanden. Die Erlebnisse spielten sich in einem speziellen akustischen oder elektronischen Kommunikationsraum ab, in dem eine gehörte Frage durch eine gesagte Antwort erfahrungsgemäß fortgesetzt wurde:

$E_1 := \text{höre(ist) höre(Sokrates) höre(ein) höre(Mensch) sage(ja klar)}$.

Wort-Erlebnisse können durch Erfahrungen mit der Realität des Wirkungsfeldes verknüpft worden sein. Dann sind Erfahrungen im abstrakten Raum der Worte praktisch nutzbar.

$\text{sehe(Karl) höre(Karl)}$.

$\text{höre(Karl ist dumm)}$.

In späteren Beispielen waren Erlebnisse auf die Realität des Wirkungsfeldes gegründet, z.B.

$A_1 := \text{sehe}(x,y,z, \text{Ein-Taste}) \text{drücke}(0,0,0, \text{Ein-Taste}) \text{sehe}(x,y,z, \text{Kontrolllampe}) \text{sehe}(0,0,0, \text{grün})$.

Es macht allerdings wenig Sinn, dass der TA, wie ein kleines Kind, auf jede Ein-Taste drückt, die er sieht. Der mündliche Befehl höre(Einschalten) ist daher einzubeziehen.

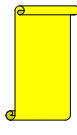
Einzelne Worte oder Wortgruppen können als Befehl, Mitteilung oder Warnung durchaus ein Erlebnis sein, dass die Realität verhaltenssteuernd kennzeichnet, z.B. höre() in

$\text{höre(zum verpacken) sehe}(x_g, y_g, z_g, \text{Glas}) \text{greife}(0,0,0, \text{Glas});$

oder ein Befehl Halt, eine Mitteilung das ist zu teuer oder ein Schild Durchgang verboten.

Mit Worten lassen sich abstrakte Brücken über Sumpfgebiete bauen, in denen wir noch keine unmittelbaren Erfahrungen gesammelt haben. Das theoretische assoziieren in abstraktem Raum wird **überlegen** genannt. Vielleicht gibt die Etymologie dieses Wortes sachdienliche Hinweise, denn schließlich sind Worte und ihre Bedeutung aus Erfahrungen und Gedanken vieler Generationen gewachsen. Wenn jemand mit seiner unbewusst assoziierten Weisheit am Ende ist, pflegt er zu sagen: „Da muss ich mal überlegen.“ Er will also seine Denkweise umschalten, will über-legen und sich in einer über-geordneten Denkebene etwas zurecht-legen. *Legen* lassen sich nur Objekte, die gedanklich nachvollziehbar als diskrete Elemente zu behandeln sind. Kontinuierliche Vorgänge im realen Wirkungsfeld sind hingegen oft nicht ohne Willkür segmentierbar. Immer eindeutig segmentiert sind die Worte der Sprache. Diese sind **abstrakt**, weil die zugehörigen Signale keine Merkmale des Wirkungsfeldes enthalten. Ein Bezug zum Wirkungsfeld muss erst unter Nutzung von geeigneten Erfahrungen hergestellt werden.

Zusammengefasst ergibt sich die Hypothese:

 Denken und Nachdenken erfolgen auf zwei verschiedenen **Denkebenen**, deren untere unmittelbar realitätsbezogen ist, während darüber auf höheren Ebenen abstrakte, theoretische Überlegungen stattfinden.

Die untere Ebene verarbeitet **phänomenologisches** Wissen über das Wirkungsfeld, also Erfahrungen, deren terminale Erlebnisse unmittelbar gewonnen worden sind und die Wechselwirkung mit dem Wirkungsfeld durch Handlungen und Wahrnehmungen beschreiben.

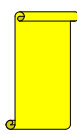
Unser Gehirn hat laufend visuelle Wahrnehmungen und andere Erlebnisse, denen es unbewusst aus seinem Erfahrungsspeicher andere Erlebnisse und deren Empfindungen assoziiert. Diese unbewussten Erlebnisse können zum Bestandteil von Erfahrungen mit bewussten Erlebnissen werden. Dieses *Priming* wird in der Werbung genutzt, um auf einem Plakat unbewusst das positive visuelle Erlebnis einer schönen Frau mit dem wertneutralen Erlebnis eines Produktnamens zu einer insgesamt positiven Erfahrung zu verbinden. Das beeinflusst unser künftiges Kaufverhalten für Produkte des unbewusst positiv geprägten Namens.

Die obere Ebene verarbeitet **theoretisches** Wissen, dessen Bezug zur Realität des Wirkungsfeldes durch geeignete Erfahrungen gegeben sein muss. Lehrer formulieren dieses Wissen durch Sprache, Graphik und Formeln. Anders lässt sich vieles in der Schule und auf der Hochschule nicht formulieren. Denkprozesse dieser Art werden als Überlegen bezeichnet.

$R_1 := \text{höre}(\text{drei und sechs}) \Rightarrow \text{sage}(\text{ist neun})$. Der Lehrer wird zwar versuchen, diese Regel unter Verwendung von Bonbons oder Bleistiften auf einen Abzählvorgang zurück zu führen, hinter den Wortsymbolen verbergen sich jedoch keine realen Erlebnisse im Wirkungsfeld.

Auch Worte, wie dumm, faul, sterblich, Mensch und Gott sind Symbole, deren Bedeutung sich nur aus dem Kontext entsprechender Erfahrungen ergibt, und die sich nicht unmittelbar durch Signale auf die Realität des Wirkungsfeldes gründen lassen. Man kann auch nicht mit dem Symbol eines konkreten Beispiels argumentieren.

Karl mag die Inkarnation eines Dummen sein. Er hat aber sicher noch andere Eigenschaften, sodass Karl nicht als Symbol für dumm benutzt werden kann. Erst ein ganzes Ensemble von Dummen, deren Dummheit die einzige gemeinsame Eigenschaft ist, wäre vielleicht geeignet, die Eigenschaft dumm zu repräsentieren.

 Worte der Sprache dienen nicht nur der Kommunikation, sondern auch der **Informationskompression**. Sie ermöglichen es, den Kontext mehrerer umfangreicher Erfahrungen durch ein einziges Symbol zu kennzeichnen.

Es wäre schön, wenn sich für Erlebnisse, die im Gegensatz zu *Überlegungen* unmittelbar auf der Realität des Wirkungsfeldes gegründet (*grounded*) sind, und für damit arbeitende Denkprozesse ein *griffiger* Begriff finden ließe⁵. Diese Art der

⁵ Die Worte *fühlen* und *Gefühl* sind von der Gefühlsforschung zu einem vielfältig schillernden Begriff gemacht

Informationsverarbeitung findet sich bei allen Lebewesen, auch bei Tieren. Die Fähigkeit, zu denken, billigt man denen jedoch nicht zu. Was tun sie dann? Sie grübeln nicht. Das tut der Mensch, wenn sich seine Überlegungen im Kreise drehen. Der Mensch denkt nach, wenn er sich seine Überlegungen bewusst macht. Er sinniert, wenn seine lieben Mitmenschen seine Überlegungen für wenig strukturiert und zielführend halten. Wenn ein Pferd auch keine Überlegungen anstellt, wird es doch nicht nur durch Reflexe und Instinkte gesteuert. Die geistige Tätigkeit von Tieren hat offenbar nicht einmal einen Namen verdient.

Kunst

In diesem Zusammenhang taucht die Frage auf, was im Kopf eines Künstlers abläuft, wenn er schöpferisch tätig ist. Vielleicht ist Kunst das Bemühen, durch rein terminale Erlebnisse von Objekten, Bildern und Tönen Erfahrungen aus der Gefühlswelt zu vermitteln. Logische Konzepte und Aussagen gehören nicht dazu. Nach Nietzsche ist die Logik der Feind jeglicher Kultur, zu deren Zerstörern er insbesondere Sokrates und Plato zählt. Schriftstellerische Werke sind nur dann Kunst, wenn sie *zwischen den Zeilen* Assoziationen auf terminaler Ebene auslösen und dort semantische Relationen nutzen. Ein Lehrbuch ist natürlich keine Kunst, denn Wissen lässt sich nicht unterhalb der Bewusstseinsschwelle verbal vermitteln.

Mit künstlerischen Methoden assoziierte Erlebnisse sind mit erfahrungsgemäßen Empfindungen verbunden, die in ihrer Summe den Kunstbetrachter und den Musikhörer in eine Stimmung, einen bestimmten Gemütszustand versetzen sollen. Eine positives ästhetisches Empfinden wird heute nur noch selten angestrebt.

Erinnerung

Erfahrungen mit unmittelbar realitätsbezogenen, also terminalen Erlebnissen werden im Gehirn überwiegend unbewusst gewonnen. Ohne dass es uns bewusst wird, können ihnen andere terminale Erlebnisse assoziiert und letztlich in situationsadäquates Verhalten umgesetzt werden. Terminalen Erlebnissen können aber auch aufwärts Symbole übergeordneter Schemata zugeordnet werden. Damit können weiter tragende Assoziationen auf höherer Ebene erfolgen, die uns im allgemeinen ebenfalls nicht bewusst werden. So gelangen wir unbewusst zu Metaerlebnissen in Vergangenheit oder Zukunft.

Im Schema eines assoziierten Metaerlebnisses gelangt man abwärts zu dessen terminalen Erlebnissen mit den zugehörigen Stell- und Messsignalen, bzw. den daraus abgeleiteten Merkmalen und Empfindungen. Diese physikalischen Signale lassen sich nunmehr so regenerieren, wie sie zur Zeit des originalen Erlebnisses aktiv waren. In dieser **Erinnerung** können Schmerzen und andere Empfindungen wieder ebenso lebendig werden, wie Bildmerkmale von Gesichtern und Verhaltensweisen

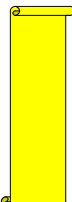
worden, der viel mehr umfasst, als das Denken auf terminaler Ebene.

von Menschen. Wer nicht zufällig über ein eidetisches Gedächtnis verfügt, erlebt dabei kein photographisches Abbild, sondern erinnert sich der Strukturen von Bildern und Verhaltensweisen. Die **Erinnerung** macht uns Vergangenes oder Künftiges bewusst.

Bewusstsein

In den vorangegangenen Abschnitten sind einige Vorgänge im Gehirn als bewusst bezeichnet worden, während andere unbewusst ablaufen. Unbewusste Vorgänge mögen geheimnisvoll sein. Geheimnisvoller aber ist, wie uns Vorgänge bewusst werden.

Nach einer Operation eines lieben Menschen freuen wir uns, zu hören, dass er *wieder bei Bewusstsein* sei. Dann hat er wieder terminale Erlebnisse, kann also wieder hören und spüren. Bewusstsein ist also eher ein Zustand unseres zentralen Nervensystems, als ein selbständiges Organ.

 Bei **Bewusstsein** und bewusstem Denken erhält unser Gehirn Signale der an Erlebnissen beteiligten Organe. Normalerweise werden diese Signale zur Tatzeit von den Organen erzeugt. Sie können aber auch als Erinnerung nach dem vorangegangenen Abschnitt durch Abwärts-Assoziationen generiert werden.

„Überall dort, wo es an vergleichbaren Erfahrungen mangelt, schalten sie [die Menschen] das Bewusstsein hinzu“ sagt Willenbrock⁶. Von ihren terminalen, phänomenologisch basierten Erfahrungen im Stich gelassen, beginnen die Menschen in der Tat auf höherer, theoretischer Ebene zu überlegen. Das kann jedoch durchaus unbewusst ablaufen und wird uns das eben nicht bewusst. Allerdings neigt der Mensch dazu, komplexere Denkprozesse auf der Ebene sprachlicher Erlebnisse durchzuführen. Durch sprachliche Formulierung wird sichergestellt, dass unsere Überlegungen wenigstens den Regeln der grammatischen Logik genügen.

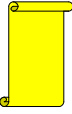
Nach den Regeln grammatischer Logik brillant formulierte Aussagen haben eine ungeheure Überzeugungskraft, auch wenn sie keinerlei Beweis für deren Richtigkeit enthalten und Begriffe verwenden, die nur im Volksmund und auch dort nur verschwommen definiert sind.

Wir jonglieren im Gehirn mit Worten, weil ihnen komplexe nichtterminale Erlebnisse in höheren Hierarchieebenen oft direkt assoziiert sind. Diese Überlegungen werden zu neuen, komprimierten Erfahrungen, aus denen sich weittragende Pläne schmieden lassen.

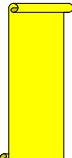
Bei diesem sprachbasierten Denken assoziiert unser Gehirn bisweilen abwärts den Symbolen sprachlicher Wahrnehmung die in der terminale Ebene zugehörigen Sprachsignale und deren Merkmale. Dadurch wird das Überlegen bewusst. Oft

⁶ Willenbrock, Harald: „Das Geheimnis der guten Wahl“, GEO 08/2008, S.138.

sinnieren und grübeln wir still vor uns hin. Gelegentlich aber haben wir das Bedürfnis, unsere Gedanken nachprüfbar und möglichst druckreif zu formulieren. Dann redet man schon mal leise in den Wind. Im Dialog und auf Sitzungen lässt sich im Prinzip wunderbar gemeinsam Denken; im Prinzip.

 Denkvorgänge werden **bewusst**, wenn deren Erlebnisse stark bewertete Empfindungen enthalten. Außerdem muss der zentrale Cortex und das beteiligte Organ Zeit dafür haben.

Wenn mehrere Aufgaben gleichzeitig anstehen, muss ein Echtzeit-Betriebssystem die Priorität des Zugriffs zu den von diesen Aufgaben angeforderten Gehirn-Komponenten und zu den Organen festlegen:

-  1. Durch Sicherheitsorgane ausgelöste Alarmer haben die höchste **Priorität**.
 2. Danach folgen auf die Realität des Wirkungsfeldes bezogene Assoziationen.
 3. Danach kommen Assoziationen bei abstrakten Überlegungen.
 4. Das Bewusstsein hat als Task eine sehr niedrige Priorität.

Überlegungen können also durch terminale Erlebnisse und durch Alarmer unterbrochen werden. Diese Hypothese scheint der Erkenntnis zu widersprechen, dass Teile des Cortex unabhängig von einander parallel arbeiten können. Doch auch dann müssen diese Agenten zu Organen und gemeinsamen Speicherbereichen prioritätsgesteuert zugreifen und gegebenenfalls warten, bis die bevorrechtigte Task den Zugriff beendet hat und ihn wieder frei gibt. Dieses Grundkonzept von Echtzeit-Betriebssystemen ist auch in den Betriebssystemen hochgradig paralleler Rechner enthalten. C.D. Jung hat durch Dual-Task-Versuche nachgewiesen, dass sich 'parallel' ablaufende Prozesse umso mehr gegenseitig stören, je intensiver sie das Gehirn beanspruchen.

Unser Kopf kann also mehr oder weniger gleichzeitig realitätsbezogen assoziieren und theoretisch überlegen. Wenn allerdings zu viele stark bewertete terminale Realitätserlebnisse auftreten, kommt unser Kopf nicht mehr zum Überlegen und wird darin dauernd unterbrochen. Frauen gelingt es offenbar besser, als Männern, die Überlegungen konsequent jeweils dort fortzusetzen, wo sie unterbrochen worden sind. Wäre das nicht so, wären Frauen der Urzeit bei den fortlaufenden Unterbrechungen durch das aktuelle Geschehen am Herd, im Haus und auf dem Hof kaum je zu weiter tragenden Überlegungen gekommen und hätten solches Denken nie gelernt. Der Mann lag immer nur im weichen Gras auf der Lauer und sinnierte dabei gelassen vor sich hin.

Aktuelle, terminale Erlebnisse aktivieren Sensorsignale und Merkmale von außen. Zwischen Aufgaben hoher Priorität hat unser Kopf nicht immer Zeit, sich diese und assoziierte Erlebnisse bewusst zu machen. Wenn dem Gehirn keine stark bewerteten Erlebnisse gemeldet werden, führt es Hintergrundarbeiten aus, die der Einordnung erlebter Fälle in die Schemata von Erfahrungen dienen. Wenn es auch dort nichts zu

tun gibt, scheint das Gehirn aus purer Langeweile die Bewusstseinschwelle so weit absenken, bis wir uns alles bewusst machen, was uns durch den Kopf geht.

Es kann aber durchaus vorkommen, dass uns im normalen Tagesablauf parallel zu den aktuellen terminalen Erlebnissen auch assoziierte Erlebnisse aus der Vergangenheit bewusst werden. Dazu gehören in alten Erfahrungen vorhergesagte Folgerlebnisse. Auch andere Assoziationen aus ferner Zeit scheinen von einem kaltem Hauch aus geheimnisvollen Gräften umweht. Dieses gespaltene Bewusstsein kann sehr irritieren. Wir leben dann quasi gleichzeitig in der Vergangenheit, in der wir das gleiche schon einmal erlebt haben. Das erzeugt kurzzeitig den Eindruck, *wir wären nicht ganz da*. Aktuelle Erlebnisse holen uns aber schnell in die Realität zurück.

Wenn Prioritäten festgelegt sind, kann ein Betriebssystem im Prinzip den Ansturm vieler verschiedener Aufgaben mit einem oder wenigen Prozessoren bewältigen. Dabei müssen nicht alle Aufgaben verschiedene Prioritäten haben, denn eine Aufgabe kann eine andere nur unterbrechen, wenn sie eine höhere Priorität hat. Sonst muss sie warten. Wenn in Krisensituationen der Ansturm zu groß wurde, konnten unsere Urahnen nicht mehr in Echtzeit reagieren, also nicht mehr so schnell, wie eigentlich nötig gewesen wäre. Darüber hat mancher *den Kopf verloren* und wusste nicht mehr, was er zuerst und zuletzt tun sollte. Überlebensfähiger waren die Ur-Kollegen, in deren Kopf evolutionäre Zufälle parallel arbeitende Automaten entstehen lassen hatten. Dieser Selektionsdruck hörte auf, als in allen Köpfen auch für Krisen genügend Kapazität vorhanden war. Dennoch kann man in Extremsituationen den Kopf verlieren, wenn man nicht diszipliniert seine Arbeitskapazität nach Prioritäten auf die anstehenden Aufgaben verteilt. Die Arbeit an einer Aufgabe muss konsequent durchgeführt werden, solange sie von keiner wirklich wichtigeren Aufgabe unterbrochen wird.

Es ist durchaus sinnvoll und vorstellbar, dass die mit den Erlebnissen verbundenen Empfindungen bewertet und in die Prioritäten eingerechnet werden. Das ist qualitativ ebenso schwierig zu spezifizieren, wie in den folgenden Kapiteln die Berechnung des Nutzens aus Wertmerkmalen. Die Bildung von Prioritäten kann ein Individuum nicht durch eine begrenzte Zahl von Jugenderlebnissen für sein späteres Leben optimal adaptieren. Sie müssen in den Genen vererbt und im Zuge der Evolution durch viele Erlebnisse vieler Vorfahren optimiert worden sein. Es sieht aber so aus, als sei auch für die Festlegung von Prioritäten kein Homunkulus in unserem Kopf von Nöten, der fremdgesteuert oder nach geheimnisumwitterten Gesichtspunkten entscheidet, was unsere Aufmerksamkeit erfordert.

Das Bewusstsein ist kein Modul des Gehirns. Bewusstsein entsteht, wenn assoziierte terminale Erlebnisse reproduziert werden. Dann werden aus den in ihnen enthaltenen Handlungen, Wahrnehmungen und Empfindungen alle Motor- und Sensorsignale rekonstruiert, die das Erlebnis repräsentiert. Dabei kann ein vergangenes Erlebnis

ebenso bewusst werden, wie ein künftig zu erwartendes.

So wird das Bauchweh rekonstruiert, das früher einmal aus den Folgen einer damals getroffenen Entscheidung entstanden ist. So entsteht auch Durst, wenn man auf einer Reklametafel ein Glas Bier mit Tautropfen geschmückt vor einer Wüstenlandschaft schweben sieht.

Alle Denkvorgänge laufen grundsätzlich unbewusst ab, solange wir uns die darin verwobenen Erlebnisse nicht bewusst machen. Das tun wir beispielsweise, wenn wichtige Entscheidungen bei unsicherem Kenntnisstand zu treffen sind, denn dann müssen die erwarteten Erlebnisse genauer analysiert werden.

4 Optimierung des Verhaltens

Wahrscheinlichkeit, Erwartungswert, Nutzen

In Kapitel 3.3 sind Erlebnisse und mögliche Fälle jeweils mit der Wahrscheinlichkeit dafür gewichtet worden, dass sie die aktuelle Situation richtig beschreiben. Wenn jede darauf basierende Fehlentscheidung die gleichen Kosten verursachen würde, ist die Entscheidung für den wahrscheinlichsten Fall tatsächlich optimal. Meistens verursachen Fehler verschiedener Art jedoch unterschiedliche Kosten.

Der Irrtum, eine Hyäne für einen Löwen zu halten und zu fliehen, ist nicht so schlimm, wie der umgekehrte Fehler, einen Löwen für eine Hyäne zu halten und gelassen weiter zu frühstücken.

Nutzen und Kosten von Fehlentscheidungen müssen nicht unbedingt in Euro und Cent angegeben werden, jedenfalls aber in einer gemeinsamen Maßeinheit. Wie und von wem sind Kosten und Nutzen festzusetzen? Für die Optimierung menschlichen Verhaltens ist das eine mehr oder weniger philosophische Frage. Alternativ ist es aber sicher lehrreich, die vorwiegend rationalen Denkprozesse nachzuvollziehen, die in der Wirtschaft Nutzen und Kosten durch unternehmerische Entscheidungen festlegen.

4.1 Unternehmerische Entscheidungen

Wertmerkmale und ihre Bewertung

Ein Unternehmer muss seine verfügbaren Geldmittel möglichst optimal einsetzen. Entscheidungen über Investitionen sollte er so treffen, dass sie insgesamt möglichst großen Nutzen und möglichst niedrige Kosten erwarten lassen. Diese Optimierung erfordert Intuition, Gespür für Markttrends und eine nicht erlernbare, oft unbewusste Nutzung von Erfahrungen im Hinterkopf. Das ist vorerst sicher keine Aufgabe für technische Systeme, wie den Trainierbaren Automaten (TA), soll aber hier auch deshalb betrachtet werden, um erkennbare Grenzen der Technik abzustecken.

Der TA ist mit ingenieurmäßiger Zielsetzung u.a. entwickelt worden, um aktuelle Problemen zu lösen, die dem Menschen bei der Kommunikation mit technischen Systemen entstehen, weil diese Kommunikation bisher in formalen Sprachen erfolgen muss, die nur wenige beherrschen. Eine solche Entwicklung finanziert niemand, weil er Spaß an der Lösung von Problemen hat. Er muss sich fragen, wie wahrscheinlich es ist, dass der zu entwickelnde TA die anstehenden Probleme löst. Und er muss sich fragen: Warum sollte man diese Probleme lösen? Ist ein Marktvorteil davon zu erwarten, ein technisches Produkt oder eine Produktionsanlage mit einem solchen System aufzurüsten? Ist das nur *nice to have* oder notwendig? Im Einzelfall lässt sich der erwartete Nutzen nur schwer und ungenau quantitativ abschätzen. Das generelle Ziel unternehmerischer Entscheidungen ist jedoch klar:



Einzelne Systeme oder ein ganzes Unternehmen und sein Produktspektrum sind an den Markt und seine Veränderungen möglichst optimal anzupassen.

Kosten und Nutzen muss der Unternehmer für seine Investitionen ebenso quantifizieren, wie für die technischen Prozesse, die der TA steuern soll. Als optimal gilt oft, was das meiste Geld einbringt. Leider lässt sich diese Rendite oft erst nach längerer Zeit aus dem Erfolg am Markt ermitteln. Es ist schwer zu erkennen, wie stark die verschiedenen Einstellungen und Merkmale von Produktionssystem und Produkt Umsatz und Rendite beeinflussen; wo lässt sich sparen, womit lässt sich ein Marktvorteil gewinnen? Der Marktwert eines Produkts wird häufig von der Form seines Gehäuses oder der Dame bestimmt, die es im Fernsehen vermarktet. Unternehmerische Entscheidungen über neue Produkte und Aufgaben werden auch in absehbarer Zukunft Menschen mit Marktüberblick und Gespür vorbehalten bleiben.

Aber es hilft nun nichts: Damit jeder im Unternehmen weiß, worauf es ankommt, müssen quantitative Bewertungen festgelegt werden. Mit diesen **Bewertungen** sind gemessene **Wertmerkmale** zu multiplizieren, um möglichst in Euro und Cent den Nutzen zu berechnen, den ein Wertmerkmal am Markt erbringt.

Gemessene Wertmerkmale sind z.B. Qualitätsmerkmale, wie die Streuung der Durchmesser von gefertigten Achsen. Durch Bewertung ist die in μm gemessene Streuung in Euro und Cent umzurechnen. Darin müssen sowohl die erwarteten Marktvorteile, als auch die Kosten zur Verringerung der Streuung berücksichtigt sein.

Hinzu kommen Betriebskosten in Produktion, Wartung und Vertrieb. Bei vielen Systemen ist die Zuverlässigkeit – gemessen beispielsweise durch die MTBF (mean time between failure) – ein entscheidendes Kriterium und muss den Erwartungswert der Kosten berücksichtigen, die bei Störungen oder Produktionsausfällen entstehen. Heutige Industrieprodukte sind nicht zuletzt deshalb so zuverlässig und effektiv, weil sie bereits im Zuge ihrer Herstellung vielfältigen Qualitätskontrollen unterzogen werden und dabei vorgegebene Qualitätskriterien erfüllen müssen.

Diese Schilderungen sollten zeigen, dass sich Optimierungsziele selbst in der überschaubaren Welt der Technik nicht ohne Probleme und Willkür festlegen lassen. Das Bemühen, solche Optimierungsziele für natürliche Systeme zu formulieren, führt zwangsläufig in das weite Feld der Philosophie und soll erst in Kapitel 5 dargestellt werden.

4.2 *Optimierung technischer Prozesse* *Regelung, Gradienten, Risiko*

Zur Optimierung menschlichen Verhaltens oder eines technischen Prozesses seien die Messvorschriften für die Wertmerkmale und deren Bewertungen bereits von der Betriebsleitung festgelegt. Optimierung erfordert keineswegs immer lernende Systeme, wie den TA. In der Technik gibt es, wie in der Biologie, Prozesse mit sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Steuerung, für die es zum Teil seit langem bewährte Lösungen gibt.

Prozessarten

Wenn die Betriebsbedingungen konstant bleiben und keine Störungen zu erwarten sind, kann ein technisches System, also eine Produktionsanlage oder ein technisches Produkt, bei Inbetriebnahme fest eingestellt werden. Danach braucht sich um derart statische Systeme und Prozesse niemand mehr zu kümmern. Von einer Steuerung kann man hier kaum sprechen.

In vielen Prozessen kann der Änderung einer wichtigen Messgröße, z.B. der Temperatur in einem chemischen Reaktor, durch Änderung einer Stellgröße, im Beispiel der Brennstoffzufuhr, entgegen gewirkt werden. Wenn die Prozesse stationär sind, wenn sich also zwar die Mess- und Stellgrößen, nicht aber der mathematische Zusammenhang zwischen ihnen ändert, stellt die **Regelungstechnik** hierfür bewährte Verfahren bereit, die weitestgehend genutzt werden, hier aber ebenso außer Betracht bleiben, wie z.B. die Regelung unserer Körpertemperatur. Die Biologie installiert Regler oft prozessnah in der Wirbelsäule oder in inneren Organen. Ebenso verlagert die Technik Regelungsaufgaben in Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) vor Ort, um die zentralen Steuerrechner und deren Bussysteme nicht fortlaufend mit Regelalgorithmen zu belasten.

Sehr viele Vorgänge in Natur und Technik sind so komplex, dass sie sich einer mathematischen Beschreibung entziehen, was die Auslegung von Reglern erschwert. **Suchstrategien** benötigen kein mathematisches Modell des Prozesses. Am weitesten verbreitet ist das **Gradientenverfahren**:

Für eine Zementmühle ist z.B. der Mittelwert der Korngrößenverteilung des produzierten Zements ein wichtiges Qualitätsmerkmal. Der Bediener verändert nach einer Suchstrategie die Stellgrößen der Mühle, wie Drehzahl und Füllungsgrad, und ein Experte stellt danach fest, ob sich die Qualität des Zements verbessert oder verschlechtert hat. Dadurch wird iterativ die neue Einstellung bestimmt, bis das Qualitätsmaximum erreicht ist.

Es ist ausgesprochen ärgerlich, wenn sich bereits während dieser Experimente die Rohstoffeigenschaften oder andere Betriebsbedingungen ändern. Dann sind die

Prozesse zeitvariant, und eine erneute Suche nach dem Optimum wird nicht weniger frustrierend sein.

Auch die Vorgänge in menschlichen Gemeinschaften sind so komplex und zeitvariant, dass sie sich einer theoretischen, langfristigen Optimierung entziehen. Dennoch wird oft versucht, durch logische Überlegungen die bestmögliche Art des Zusammenlebens zu finden. So sind **Ideologien** entstanden, die immer wieder zurechtgebogen werden müssen, um die veränderlichen Rahmenbedingungen unseres Lebens zu berücksichtigen. Vor allem aber müssen sie die Menschen zurechtbiegen, Ihnen ihre Individualität weitgehend nehmen und sie möglichst gleich machen, damit sie alle in das Korsett der Ideologie passen. So haben Ideologien schon viel Unheil angerichtet.

Gauck^{xiv} sagt in seiner Biographie: „Die Erwachsenen und Diktaturerfahrenen der Länder sollten zusammenstehen ... nicht für eine Gestaltung des absolut 'Guten' und 'Richtigen', sondern des jeweils **Besseren**. Mit diesem Motto bleiben wir sehr irdisch und sehr nah an dem, was uns vor den Füßen liegt.“ Das bringt auf eine kurze Formel, was über **konservatives** Denken in vielen dicken Büchern^{xv} geschrieben worden ist. Kern dieses politischen Konzepts ist das in der Kybernetik technischer Prozesse weit verbreitete Gradientenverfahren.

Dieses Verfahren ist etwas weiter oben am Beispiel der Optimierung einer Zementmühle skizziert worden. Wem dieses Beispiel nicht behagt, der kann sich auch eine Schokoladenfabrik vorstellen, die ihre Rezeptur schrittweise ändert. Wird der Geschmack nicht besser, so wird die Änderung der Rezeptur rückgängig gemacht. Schmeckt die Schokolade besser, ist die neue Rezeptur Basis weiterer Änderungen.

Sozialistische Ideologien erfordern einen räumlichen und zeitlichen Planungshorizont, der weit über den realen Wirkungshorizont ihrer Verfechter hinausgeht. Deshalb hält es Lafontaine^{xvi} für zwingend, der Globalisierung entgegen zu treten. Schon Stalin und Ulbricht haben erkannt, dass der Kommunismus erst die Welt beherrschen muss, bevor er sich richtig entfalten kann. Ein globales Wirkungsfeld haben aber nur die großen Konzerne, die *global player*, nicht die Bürger und ihre Regierungen, auch wenn sie frei gewählt worden sind. Die USA versuchen durch CIA-Organen im globalen Wirkungsfeld der Konzerne mitzumischen.

Es wäre sehr zu wünschen, dass sich die Regierungen weltweit darauf einigen, die Macht egoistischer Finanzimperatoren zu beschneiden und teure Finanzspielereien zu unterbinden, die der Allgemeinheit keinerlei Nutzen, sondern nur Risiken bringen. Diese Abzockerei wirkt systemtheoretisch als Rückkopplung, die jedes System zum schwingen bringt. So torkelt die Welt von einer Krise in die andere.

Wenn wir Menschen uns selbst betrachten, sind wir überzeugt, dass die Evolution ein sehr effektives Optimierungsverfahren ist. Die **Evolution** hat aber für unsere

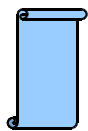
Entwicklung viele Millionen Jahre gebraucht. So viel Zeit haben wir nicht, wenn wir das Optimierte zu unseren Lebzeiten nutzen wollen. So viel Zeit brauchen wir auch nicht. Die Ausgangsbasis bildet eine Produktgeneration vieler Exemplare gleicher Qualität, deren Betriebsparameter und Aufbau von Exemplar zu Exemplar auf unterschiedliche Weise verändert werden. Die Exemplare dieses evolutionären Entwicklungsprozesses, die durch die Änderungen schlechter wurden, müssen in der Technik nicht grausam sterben. Sie werden durch Umbau und Einstellung dem besten Repräsentanten angeglichen der bei diesem Entwicklungsschritt entstanden ist. Nun ist wieder eine Generation von Repräsentanten gleicher, verbesserter Qualität vorhanden, die Ausgangsbasis eines neuen Entwicklungsschritt sein kann.

Wenn ein System mit einem veränderlichen Umfeld in Wechselwirkung steht, lässt es sich nicht als isoliertes System optimieren. In Technik und Biologie geht es dann je nach Möglichkeit darum, das zu optimierende System an sein Wirkungsfeld zu **adaptieren** oder das Wirkungsfeld an die Bedürfnisse des Systems zu **assimilieren**.

Zur Handhabung von Trinkgläsern muss sich ein Roboter z.B. an die jeweilige Situation adaptieren, indem er ein Trinkglas sucht und die folgende Greifhandlung an die gefundene Position adaptiert. Sodann assimiliert der Roboter sein Wirkungsfeld indem das Trinkglas in vorgegebener Weise handhabt. Dies ist ein Arbeitsfeld des TA.

Erwartungswert des Nutzens

Im ersten Kapitel dieses Buches ist festgestellt worden:



Das Gehirn muss, genau wie ein technisches Automatisierungssystem in einem Wirkungsfeld, das sich fortwährend verändert, die **Situation erkennen** und das **Steuerungsverhalten möglichst optimal** daran anpassen.

Dazu ist ergänzt worden, was optimal ist:

- (7) Eine optimale Entscheidung maximiert den **Erwartungswert des Nutzens**, wobei Kosten als negativer Nutzen zu Buche schlagen.

Unternehmerische Entscheidungen muss jeder treffen. der etwas unternehmen will, der sich zum Beispiel ein Auto kauft, ein Haus baut oder einen Beruf wählt. Bisweilen spielt ein Gewinn bei der Entscheidung keine Rolle, sondern die zu treffende Entscheidung soll primär das **Risiko**, den Erwartungswert der Kosten minimieren. Das wird klarer, wenn die Kosten als *Schaden* bezeichnet werden.

Eine Entscheidung zwischen mehreren Alternativen ist fast täglich erforderlich und fällt oft schwer. Dann wird nächtelang gegrübelt. Dabei wird uns bisweilen bewusst, wie wir denken, wenn wir eine Entscheidung treffen müssen. Weil die Entscheidungsfindung ein so zukunftsweisender Prozess ist, lohnt das Bemühen, diesen Prozess nachzuvollziehen. Deshalb sei es gestattet, das folgende Beispiel ausführlich darzustellen, zumal es für jeden durchaus eine praktische Nutzenanwendung hat. An diesem Beispiel wird auch erläutert, wie ein Erwartungswert zu berechnen ist.

Wer meint, der erwartete Nutzen des geistigen Bemühens um dieses Beispiel rechtfertige nicht die erwarteten Kosten, also Zeitaufwand und Kopfschmerzen, sollte bedenken, dass auch jede unbewusste Entscheidung den Erwartungswert des Gewinns maximieren und die erwarteten Kosten minimieren sollte. Dabei sind fast immer Wahrscheinlichkeiten zu berücksichtigen.

Optimale Entscheidungen

Wer mit dem Auto unterwegs ist, steht, wie in Abb.4.1, gelegentlich vor einer Straßensperrung mit einem Schild: *Umleitung*. Diesem Gebot wird ein pflichtbewusster Staatsbürger auf jeden Fall gehorchen. Wer aber meint, hier sei das Pflichtbewusstsein nicht gefragt, wird in Erwägung ziehen, das Schild zu übersehen und es *direkt* zu versuchen. Vielleicht kommt er irgendwie durch die Baustelle.

2 Alternativen stehen also zur Entscheidung:

A_1 : *Umleitung* fahren oder

A_2 : *direkt* zur Baustelle fahren; vielleicht kann man sie vor Ort umgehen.

2 Fälle für den Zustand der Baustelle haben unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten:

F_1 : $p(\text{passierbar})$; insbesondere Sonntags könnte man vielleicht durchkommen.

F_2 : $p(\text{unpassierbar})$; sonst ist die Baustelle meistens unpassierbar.

Dabei ist

$p(\text{passierbar}) + p(\text{unpassierbar}) = 1$, weil eins von beiden wahr sein muss. Also :
 $p(\text{unpassierbar}) = 1 - p(\text{passierbar})$.

Hinsichtlich der Kosten wird vereinfachend angenommen, dass die Baustelle in der Mitte der direkten Strecke liegt. Als Maß für die Kosten wird einfach die Länge der jeweiligen Fahrstrecke angegeben, weil die Kosten/km fast gleich sind. Dieses Kosten umfassen Betriebskosten und Zeitverlust.

Bei 2 Alternativen und 2 möglichen Fällen sind kombinatorisch 4 Erlebnisse möglich.

1. Erlebnis: *Umleitung* fahren. Wenn Baustelle *passierbar*, dann Kosten = u = Länge der Umleitungsstrecke.

2. Erlebnis: *Umleitung* fahren Wenn Baustelle *unpassierbar*, dann Kosten = u . Der Zustand der Baustelle ist unerheblich.

3. Erlebnis: *Direkt* fahren. Wenn Baustelle *passierbar*, dann Kosten = d = Länge der direkten Strecke.

4. Erlebnis: *Direkt* fahren. Wenn Baustelle *unpassierbar*, dann Kosten = $2 * d/2 + u = d + u$
 (Strecke $d/2$ bis Baustelle hin und zurück + Umleitung u).

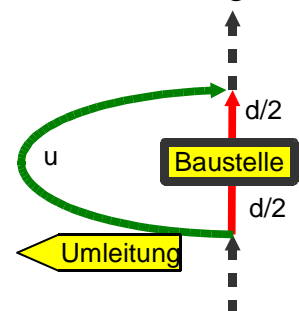


Abb. 4.1 Vielleicht ist die Baustelle passierbar.

Ein Erlebnis habe bei gewählter Alternative A, wenn Fall F vorliegt, die Kosten(Erlebnis) = Kosten(A|F).

Der Erwartungswert der Kosten eines Erlebnisses, ist das Produkt aus Wahrscheinlichkeit und Kosten dieses Erlebnisses, also

Risiko(Erlebnis) = $p(F) \text{Kosten}(A|F)$.

Der **Erwartungswert** der Kosten, also das Risiko der Entscheidung für eine Alternative ist die Summe der Risiken der hierbei möglichen Erlebnisse.

$$R(\text{Alternative1}) = p(F_1) \text{Kosten}(A_1|F_1) + p(F_2) \text{Kosten}(A_1|F_2)$$

$$R(\text{Umleitung}) = p(\text{passierbar}) u + p(\text{unpassierbar}) u = u$$

$$R(\text{Alternative2}) = p(F_1) \text{Kosten}(A_2|F_1) + p(F_2) \text{Kosten}(A_2|F_2)$$

$$R(\text{direkt}) = p(\text{passierbar}) d + p(\text{unpassierbar}) (d + u) = d + p(\text{unpassierbar}) u$$

Die Wahrscheinlichkeit $p(\text{passierbar})$ lässt sich, wie jede statistische Kenngröße, nur ermitteln, wenn man von einem großen **Stichprobe** vieler statistisch unabhängiger Erlebnisse ausgehen kann. Wenn man oft *direkt* gefahren ist, hat man die Erfahrung gewonnen, in welchem prozentualen Anteil $p(\text{passierbar})$ der Fälle man ohne Achsenbruch durch die Baustelle kommt. Das kann aber in der nächsten Woche schon anders sein!

Wer *Umleitung* fährt, hat in jedem Fall die Kosten u , also $R(\text{Umleitung}) = u$.

Wenn $p(\text{passierbar}) = p(\text{unpassierbar}) = 50\%$ ist, ergibt sich $R(\text{direkt}) = d + u/2$.

Wenn $R(\text{direkt}) < R(\text{Umleitung})$, also $d + u/2 < u$, bzw. $2d < u$, dann sollte man *direkt* fahren. Die direkte Strecke $2d$ wird stets kürzer sein, als die Umleitung u . Also lohnt sich die gesetzwidrige Missachtung des Umleitungsschildes immer, wenn man davon ausgehen kann, dass $p(\text{passierbar}) \geq 50\%$ ist. Bitte nicht weitersagen!

Weil man mangels ausreichender Stichproben $p(\text{passierbar})$ ohnehin nicht genau abschätzen kann, genügt das als grobe Verhaltensregel. Wer es öfter versucht hat, direkt durchzukommen und dabei p genauer ermittelt hat, fährt *direkt* wenn

$$p(\text{passierbar}) > d/u.$$


Welche Entscheidung man auch immer zu treffen hat, man wird bei seinen Überlegungen auf qualitativ ähnliche Weise Wahrscheinlichkeiten und Kosten berücksichtigen.

Eigentlich müssten jedem Erlebnis zwei Wertmerkmale zugeordnet werden: Die Fahrstrecke und die benötigte Zeit. Denn diese Wertmerkmale bewertet der Fahrer in verschiedenen Situationen unterschiedlich. Der Wert, den der Fahrer dem Kraftstoffverbrauch beimisst, hängt von seiner momentanen finanziellen Situation ab. Die benötigte Zeit ist umso wertvoller, je eiliger es der Fahrer hat.

In diesem einfachen Beispiel gab es keinen Gewinn, der von der Entscheidung abhing. Im allgemeinen muss der Gewinn einbezogen und nach (7) der

Erwartungswert des Nutzens maximiert werden. Sprachlich ist es ohnehin befriedigender, durch sein Verhalten den erwarteten Nutzen zu *maximieren*, als das Risiko zu *minimieren*.

Die geschilderten quantitativen Überlegungen sollten z.B. auch den Abschluss einer Versicherung begleiten. Jede Versicherungsgesellschaft muss Betriebskosten und Gewinne erwirtschaften. Das kann sie nur, wenn sie im Mittel an den Verträgen verdient. Verluste bei Verträgen mit hohem Risiko müssen also durch Gewinne bei Verträgen mit geringem Risiko mehr als ausgeglichen werden. Daher lohnt sich es sich für den Versicherungsnehmer nur, ein überdurchschnittliches Risiko zu versichern; sonst zahlt er voraussichtlich drauf. Wenn allerdings ein Verlust zwar sehr unwahrscheinlich, aber existenzbedrohend sein kann, ist eine Versicherung dennoch sinnvoll.



4.3 *Bewertung technischer Prozesse* *Betriebsbedingungen und Marktlage*

Der Nutzen wird durch drei Faktoren bestimmt:

Wertmerkmale sind gemessene Indikatoren für den Wert eines Erlebnisses. Sie werden von technischen Sensoren bzw. von unseren Organen gemeldet und beim Lernen mit jedem Erlebnis gespeichert, wie in Abb.4.2 dargestellt ist. Der kaufmännische Begriff *Wertmerkmale* wird durch das Wort **Empfindungen** ersetzt, wenn die menschliche Psyche im Vordergrund steht. Empfindungen sind Merkmale eines Erlebnisses, die etwas über dessen emotionalen Wert aussagen.

Bewertungen sind in der Wirtschaft zeitlich veränderlich und werden in Datenregistern gespeichert. Sie enthalten die Bewertung der Merkmale durch den Markt oder das Individuum. Hypothesen über ihre Entstehung und Veränderung werden in Kapitel 4.3 aufgestellt. Wenn die Bewertung linear erfolgen kann, werden Bewertungsfaktoren benutzt.

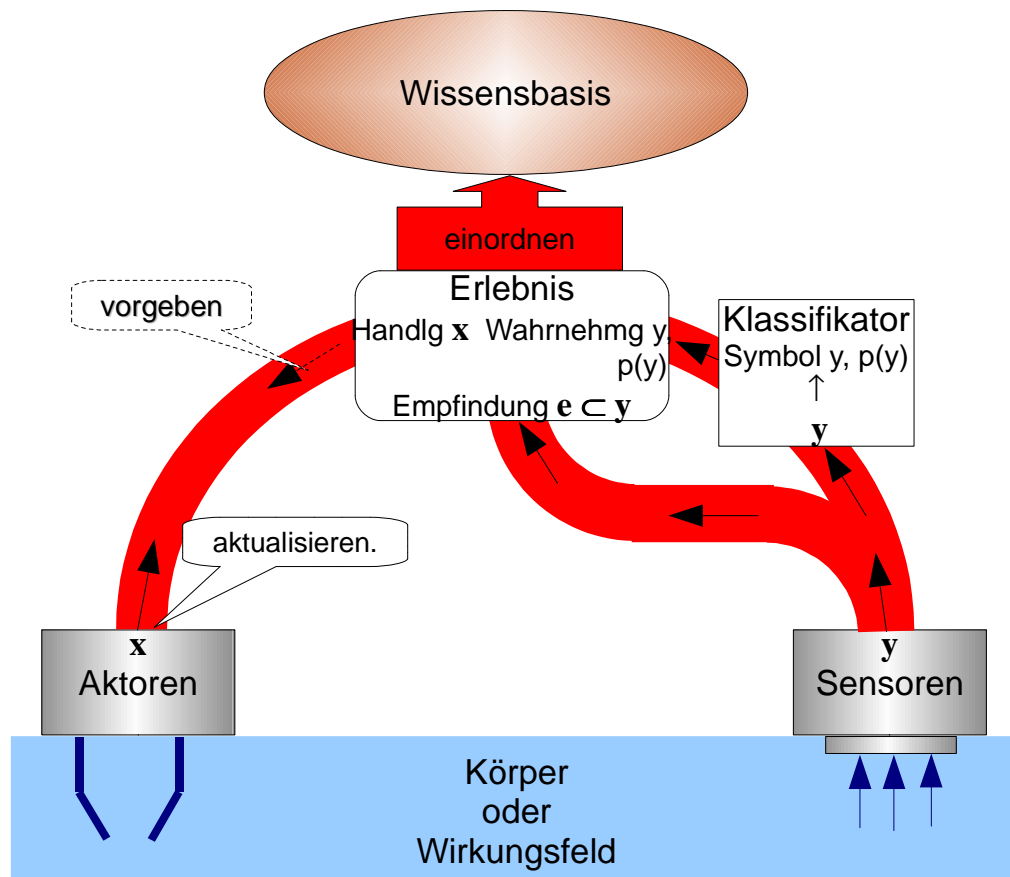


Abb. 4.2: Den Sensordaten y wird vom Klassifikator ein Symbol y zugeordnet, was mit $p(y)$ richtig ist. Ein Teil der Sensordaten y wird als Empfindung e in das Erlebnis übernommen.

Fallwahrscheinlichkeiten für alle aufgrund der bisher gemeldeten Folge von Erlebnissen möglichen Fälle bilden den **Kenntnisstand**. Der Kenntnisstand wird durch neue Erlebnisse laufend verbessert.

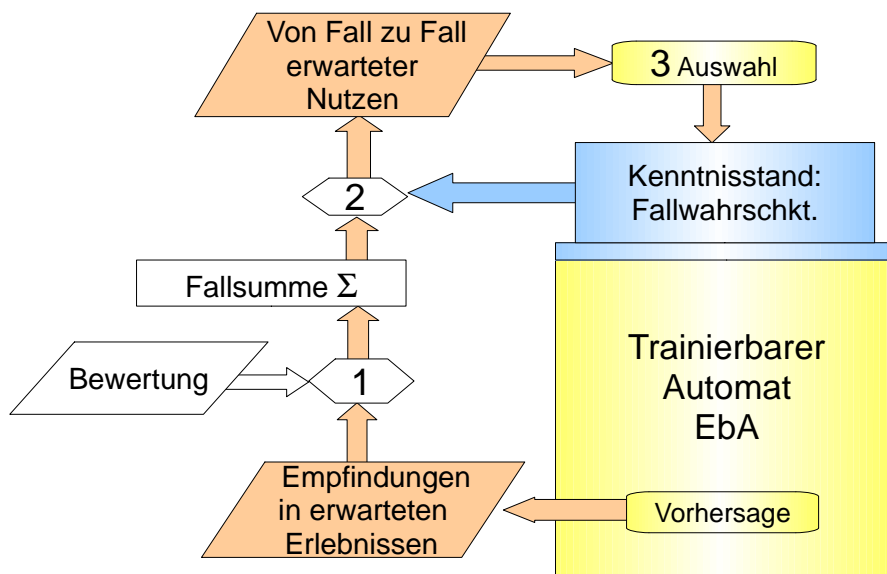


Abb.4.3: Vorhergesagte Erlebnisse enthalten Wertmerkmale bzw. Empfindungen, die individuell bewertet, summiert und mit Fallwahrschkt. gewichtet, den erwarteten Nutzen ergeben. Der nützlichste Fall steuert das Verhalten.

Der Fall mit dem größten erwarteten Nutzen wird, wie in Abb.4.3 dargestellt, in den folgenden Schritten ausgewählt.

1. Die erfahrungsgemäß vorhergesagten Wertmerkmale oder Empfindungen werden individuell bewertet. Gelegentlich sind sie dabei nur mit Bewertungsfaktoren zu multiplizieren. In ihrer Summe ergeben sie den aktuellen Nutzen, den ein Fall hat, wenn er ausgewählt und tatsächlich realisiert wird.
2. Dieser Nutzen, mit der Wahrscheinlichkeit des zugehörigen Falls gemäß Kenntnisstand multipliziert, ergibt den Erwartungswert des Nutzens eines Falles.
3. Der Fall mit dem größten Erwartungswerte des Nutzens seiner Erlebnisse wird zur Fortsetzung ausgewählt.

Das im ausgewählten Fall folgende Erlebnis enthält die nächste auszuführende Handlung. Die Berechnung des erwarteten Nutzens, den es zu optimieren gilt, ist in Kapitel 4.2 an einem Beispiel erläutert worden, in dem zu entscheiden war, ob der Fahrer einer Umleitung folgen sollte, oder nicht. Im allgemeinen ist es nicht so einfach, messbare Wertmerkmale so zu bewerten, dass sich daraus der zu maximierende Nutzen ergibt. Auch der Kunde kann oft nicht sagen, wie gemessene Wertmerkmalen eines Produkts in Euro umzurechnen sind. Der Kunde möchte oft die Wertmerkmale einer bestimmten Charge, mit der er sehr zufrieden war, in der neuen Produktion möglichst gut reproduziert sehen. Dazu wird gern der quadratische Abstand zwischen den Soll- und Ist-Werten der Merkmale minimiert.

Die Qualität von Zement wird u.a. durch die Korngröße bestimmt, die aber weder möglichst groß, noch möglichst klein sein soll. Vielmehr soll die Abweichung des Mittelwertes und der Streuung von ihren Sollwerten minimiert werden.

Bisweilen sind die Wertmerkmale nicht in Echtzeit zu bestimmen, sondern sind erst nach aufwendigen Analysen verfügbar, sodass sich Änderungen frühestens auf die nächste Charge auswirken können. Produktionsprozesse müssen oft rückwirkend bewertet werden: Wenn der Kunde ein bestimmtes Produkt lobt, wird die Chargennummer festgestellt, und das zugehörige Chargenprotokoll als Optimierungsziel für spätere Aufträge genutzt.

Oft ändert es sich sehr rasch, welchen Nutzen ein Wert- oder Qualitätsmerkmal am Markt hat oder welche Kosten für Rohstoffe und Energie zu bezahlen sind, mit welchen **Bewertungsfaktoren** also die betreffenden Wertmerkmale zu multiplizieren sind. Die Bewertungsfaktoren geben oft die *Stimmung* am Markt wieder. Der Betriebsleiter muss sie entsprechend einstellen. Das kann er wiederum erst, nachdem er, zum Beispiel auf einer Messe, Rückkopplungen vom Markt erhalten hat.

Zur Optimierung technischer Prozesse, würde es viel zu lange dauern, wenn der TA seine Erfahrungen durch Versuch und Irrtum erwerben müsste. Auf diese primitive Weise erwirbt ein Mensch in seiner Ausbildung zum Anlagenfahrer nur einen kleinen Teil seiner Erfahrungen. Seine Grundausbildung befähigt ihn, dass Prozessgeschehen weitgehend zu verstehen und aus erfolgreichem Verhalten, aber auch aus Fehlern, Erfahrungen zu gewinnen. Dieses Wissen gibt er an den TA einfach dadurch weiter, dass er den Prozess nach bestem Wissen steuert, während der TA seine Handlungen und Wahrnehmungen, sowie die ermittelten Wertmerkmale erfasst und als Erfahrungen abspeichert.

Es wird deutlich geworden sein, dass sich die Wertmerkmale industrieller Prozesse nicht ohne Willkür bewerten lassen.

5 Optimierung der Lebensqualität

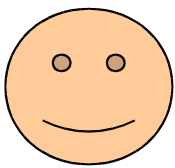
Qualitative Erlebniskomponenten

5.1 Empfindungen

Ästhetik und Gefühle

Wertmerkmale menschlicher Erlebnisse, hier **Empfindungen** genannt, werden in den Organen zusammen mit Handlungen und Wahrnehmungen gebildet und durch neuronale Signale oder chemische Botenstoffe übermittelt. Unsere Sinnesorgane messen Temperatur, Oberflächenrauigkeit, Helligkeit, Lautstärke und vieles mehr. Aus diesen Sensorsignalen werden Merkmale extrahiert, denen ein Klassifikator Wahrnehmungssymbole zuordnet. Einige dieser Signale und Merkmale können gleichzeitig zu den Empfindungen gehören, andere werden ausschließlich als Empfindungen verarbeitet.

Dazu gehören Merkmale, die aus Signalfeldern extrahiert werden, wie sie z.B. Auge und Ohr liefern, und die als **ästhetische** Empfindungen anzusehen sind, wenn auch schwer zu spezifizieren ist, was hübsch/hässlich oder gepflegt/ungepflegt ist. Unser Gehör freut sich über harmonische Verhältnisse der Frequenzen von Tönen zu einander. Ein Chinese empfindet andere Harmonien, als ein Araber oder ein Europäer, der mit abendländischer Musik aufgewachsen ist. Wer schon einmal eine Peking-Oper oder einen Muezzin gehört hat, verwechselt sie sicher nicht mit einer Wagner-Oper oder dem Gesang christlicher Mönche. Auch in der bildenden Kunst sind in diesen Kulturen völlig verschiedene Werke entstanden. Es soll hier nicht darüber spekuliert werden, welche Qualitätsmerkmale unser Gehör oder unser Auge erfasst, wenngleich das sicher sehr interessant wäre.



Unser cleveres Auge, bzw. das nachgeschaltete visuelle System, kann aus Mimik und Gestik auf den Gemütszustand unseres Gegenüber schließen: froh/traurig, offen/reserviert, selbstsicher/unsicher oder wach/müde. Einige Merkmale sind offensichtlich. Es soll hier nicht versucht werden, diese Empathie in Messvorschriften für die quantitative Bildanalyse umzusetzen.



Empfindungen über unseren eigenen Gemütszustand werden, wie Trompetenklänge, durch chemische Botenstoffe in unserem ganzen Körper verbreitet und steuern hier unmittelbar wichtige Körperfunktionen in dem Bestreben, sie an den Gemütszustand anzupassen. Darüber hinaus muss es aber weitere Empfindungen geben, die nur auf Anforderung bewusst werden, denn Psychologen raten, sich in heiklen Situationen zu fragen: „Wie fühle ich mich dabei?“ Wen müssen wir denn da fragen? Vielleicht gibt es in Abb.5.1 von Kapitel 5.4 zwischen der Bewertung von Empfindungen und der Berechnung integraler Lebensqualität ein abfragbares Organ. Tieren billigen wir

keine Ethik zu, aber für den Menschen postuliert die Theologie eine **Seele**. Die könnte in dem hier beschriebenen Systemzusammenhang ein Organ sein, das Erfahrungen **ethische Empfindungen**, wie gut/böse oder edel/gemein, als Wertmerkmale eigenen und fremden Verhaltens zuordnet.

Solche Attribute sollten auch den Erlebnissen zugeordnet werden, die uns Information über andere Lebewesen melden. Die Erkennung von Feind/Freund/Beute und ein daran angepasstes Verhalten dürften als Reflex oder Instinkt angeboren sein.

Eine Frosch nimmt ein vorzugsweise horizontal ausgedehntes Objekt, wie einen Wurm, als Beute wahr und wendet sich ihr erfreut zu. Ein vorzugsweise vertikal ausgedehntes Objekt, einen sog. *Antiwurm*, erkennt er als Feind und wendet sich so rasch wie möglich ab. Beide nimmt der Frosch nur wahr, wenn sie sich bewegen.

Am einfachsten lässt sich nachvollziehen, dass ethische Wertmerkmale dem Kontext von Erfahrungen durch verbale Aussagen assoziiert werden. Nachdem wir über ein Kollektiv von Menschen gehört haben, dass sie böse sind, können wir gegebenenfalls Bekannte mittels semantischer Relationen nach Kapitel 2.3 in diesen Kreis aufnehmen. Die Mitteilung höre(Fritz ist böse) ordnet Fritz in eine Gruppe ein, deren verschiedene Bösarbeiten wir uns bewusst machen können.

Das Limbische System im Gehirn bewertet alle Empfindungen. Danach gehen sie gemäß Abb.4.3 in die Entscheidungsfindung ein. Dazu gehören auch Empfindungen in Erlebnissen, die vom TA erfahrungsgemäß assoziiert und vorhergesagt werden. So kann früher erlebte Angst assoziiert werden, oder die Vorfreude auf die Begegnung mit einem Menschen, an den schöne gemeinsame Stunden erinnern.

Überall auf der Körperoberfläche, besonders auf den Fußsohlen und – so wird gesagt – sogar an den Zahnwurzeln, finden sich Nervenenden, die mit bestimmten Organen in Verbindung stehen. Es entstehen Empfindungen, wenn diese Nervenenden gereizt werden. Welchen Vorteil die taktile Zugänglichkeit von Nervenleitungen für den Fortbestand des Lebens unter Evolutionsdruck hat, ist nicht ohne weiteres ersichtlich. Die Akupunktur ist jedenfalls eine ernst zu nehmende Heilkunst mit unbestreitbaren Erfolgen. Im Tierreich wurden schon immer Nervenenden durch Kratzen und Scheuern dazu angereizt, Drüsen in bestimmten Organen zu veranlassen, heilsame Stoffe auszuschütten und zu verbreiten.



5.2 *Bewertungen* *Empfindlichkeit, Willensfreiheit*

Der TA wird in der beschriebenen Form auch in den folgenden Abschnitten Kern des Gesamtsystems bleiben, das menschliches Verhalten simulieren soll. Weil die Struktur des TA und seine Funktionen im folgenden nicht mehr verändert werden, wird künftig nicht mehr darauf eingegangen. Der TA hat sich als Modell des Gehirns bewährt, soweit er den Wissenserwerb, sowie logische, probabilistische und semantische Schlüsse simuliert. Seine Fähigkeit zur erfahrungsbasierten Vorhersage hat es ermöglicht, den als Folge von Verhaltensentscheidungen erwarteten Nutzen zu optimieren.

Es ist sicher sinnvoll, den Nutzen alternativer Fälle vorherzusagen und zur Steuerung des eigenen Verhaltens den Fall auszuwählen, der den größten Nutzen verspricht. Dieser Fall kann recht unwahrscheinlich sein. Wenn er aber wider Erwarten eintritt, bringt er den größten Nutzen. Vorausblickend empfinden wir das als **Hoffnung**. Dem steht die **Angst** gegenüber, dass ein Fall eintritt, der zwar unwahrscheinlich ist, aber großes Leid bringen würde. Hoffnung und Angst in mittel- und langfristigen Vorhersagen bilden eine starke **Motivation**, die Kosten starker Anstrengungen in Kauf zu nehmen, um die Wahrscheinlichkeit positiv empfundener Fälle zu steigern und die Lebensqualität in Zukunft trotz aller Risiken zu sichern. Das Prinzip Hoffnung schafft Zugmotivation, Angst erzeugt Druckmotivation.

Der TA macht den Nutzen davon abhängig, wie die von den Organen gemeldeten Empfindungen, also die Wertmerkmale der Erlebnisse, bewertet werden. Wir können davon ausgehen, dass wir Menschen mit voreingestellten Bewertungsfaktoren geboren werden. Wären diese bei unserer Geburt alle Null gewesen, hätten wir als Baby bei unseren ersten Tastversuchen keine Rückkopplung von Erfolg und Misserfolg erleben und unsere Gliedermotorik durch Versuch und Irrtum trainieren können.

Möglicherweise bleiben die Bewertungen bis zu unserem Tode unverändert. Wie kommt es dann aber, dass unsere Eigenheiten und Vorlieben mit zunehmendem Alter immer ausgeprägter werden? Das liegt einfach daran, dass wir gern und bevorzugt Erfahrungen mit Erlebnissen machen, die wir positiv bewerten, während wir negative Erfahrungen nicht zu wiederholen trachten. Wir sammeln also vorzugsweise Erfahrungen, die unserem Wesen entsprechen, das in den Bewertungen enthalten ist. Wegen ihrer Häufigkeit bestimmen derartige Erfahrungen daher zunehmend unser Verhalten und unsere Interessen.

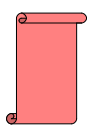
Der TA ist ein probabilistischer Automat, dessen Zustand, der Kenntnisstand, von Wahrscheinlichkeiten gebildet wird, aber er ist kein stochastischer Automat, der sein Verhalten willkürlich ändert. Der TA reagiert bei gleichen Bewertungen, Erfahrungen und Kenntnisstand, also bei gleicher Vergangenheit und Gegenwart auf das gleiche Erlebnis immer in gleicher Weise. Er hätte dann absolut keine **Willensfreiheit**. Wenn in unserem Kopf ein Homunkulus säße, der unsere Bewertungen spielerisch ändern könnte, besäße dieser Homunkulus in der Tat Willensfreiheit. Wer daran glaubt, kann sich mit diesem Homunkulus identifizieren und dessen Willensfreiheit für sich in Anspruch nehmen.^{xvii}

Willensfreiheit scheint wider Erwarten ein Messer zu besitzen, das mit seinem Schwerpunkt am Rand eines Tellers liegt, den wir flugs abzuräumen im Begriff sind. Es hüpfte entgegen aller Voraussicht und ohne unser Zutun anscheinend eigenwillig vom Teller.

Wahrscheinlicher ist, dass sich eine bestimmte Person mit konstanten Bewertungen bei völlig gleicher Vorgeschichte - und nur dann – stets gleich verhalten würde. Nur weil die Vorgeschichte nie genau die gleiche ist, sind die Voraussetzungen für gleiches Verhalten nie erfüllt. Mal scheint die Sonne, mal ist es trübe; mal fühlen wir uns wohl, mal weisen uns Schmerzen im Kreuz auf Grenzen unserer Belastbarkeit hin.

Wenn zu einem vorgegebenen Ziel mehrere Wege führen, werden wir i.a. den erfahrungsgemäß kürzeren wählen. Wenn wir aber Hunger haben, verstärkt das in einer anderen Erfahrung die Bewertung des Erlebnisses, dass wir auf einem etwas längeren Weg an einem Gasthaus vorbeikommen, in dem uns ein Gänsebraten vorzüglich gemundet hat. Dann kann im Kenntnisstand der längere Weg dominieren.

Empfindungen lassen sich nicht immer einfach durch Bewertungsfaktoren bewerten. Eine zu niedrige Raumtemperatur wird ebenso als negativ empfunden, wie eine zu hohe. Das Optimum liegt dazwischen.



Die **Bewertung** einer Empfindung ist eine spezifische Funktion dieser Empfindung, die deren Wert bzw. Nutzen ermittelt. Eine Bewertung kann von mehreren Empfindungen abhängen.

„ Dazu könnte beispielsweise das Produkt zweier Empfindungen, also deren Korrelation, bewertet und im erwarteten Nutzen berücksichtigt werden.

Logisch formuliert: WENN spüre(Hunger) UND rieche(Braten) DANN gehe(Gasthaus).

Wenn jemand vorausschauend plant, muss er davon ausgehen können, dass seine Bewertungsfaktoren im Planungszeitraum im wesentlichen unverändert bleiben. Das dürfte dem zeitlichen Optimierungshorizont eine Grenze setzen, die in der Ferne verschwimmt.

5.3 *Optimierungshorizont* *Wirkung und Planung*

Im technisch-kaufmännischen Denken wird der erwartete Nutzen optimiert. Die Empfindungen von Freude und Leid, Schmerz und Wohlbefinden lassen sich natürlich als positiver bzw. negativer Nutzen einbeziehen. Geht es im Leben nur darum, dass wir uns heute wohlfühlen? Auch wenn es Horaz vielleicht nicht so gemeint hat, sollte *carpe diem* als Aufforderung verstanden werden, den Tag zu nutzen und nicht alles lästige auf den nächsten Tag zu verschieben. Doch mancher empfindet nur momentanen Spaß als Nutzen. Menschen mit weiterem Horizont maximieren hingegen auch den erwarteten Nutzen ihres Einsatzes für die eigene Zukunft und für ihre Gemeinschaft als notwendige Voraussetzung künftiger Lebensqualität. Die Vorfreude auf die Blüte der im Frühjahr gepflanzten Blumen gehört ebenso dazu, wie die Befriedigung durch neue Erkenntnisse und die Hilfe für Mitmenschen in Not. Natürlich senken Hunger, Kälte und Schmerzen, aber auch die Angst davor, die Lebensqualität. Diese und viele andere Einflussgrößen müssen in die Optimierung der Lebensqualität aufgenommen werden.

Der Mensch ist als Einzelner im Kampf und auf der Flucht den meisten anderen Arten unterlegen. Daher hat er sich stammesgeschichtlich in Gruppen organisiert, die koordinierend geführt werden mussten. Evolution eliminiert auch stärkere Gruppen, wenn sie nicht vom Fähigsten geführt werden. Diese Führungskraft muss ihre Führungsfähigkeit in Konkurrenz zu Anderen und zu anderen Gruppen fortlaufend beweisen und verbessern. Dazu muss sie nicht nur ihre Fähigkeiten fortentwickeln, sondern auch ihren Optimierungshorizont räumlich und zeitlich erweitern. Sie muss also ihre Optimierungsstrategien in ein größeres Zeitintervall und in den größeren Raum menschlicher Gemeinschaften hinein entfalten. Das wiederum erfordert Wissen über diesen größeren Raum, das beschafft und nutzbar gespeichert werden muss.

Menschen unterscheiden sich sehr grundlegend von einander in der Weite ihrer Optimierungshorizonts. Es gibt einen zeitlichen Horizont, der die Zukunftsaussichten im Blick behält, und auch an die geschichtliche Entwicklung anknüpft. Und es gibt einen *räumlichen* Horizont, der die Familie, den Nächsten, den Staat und die Menschheit umfasst. Horizonte darf man sich nicht scharf begrenzt vorstellen; die Planungs- und Wirkungsmöglichkeiten klingen mit der zeitlichen und räumlichen Entfernung langsam ab.

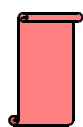
Der Optimierungshorizont jedes Kleinkindes ist auf die eigene kleine Person begrenzt. Eltern und alle Erwachsenen sind nur auf der Welt, um dem kleinen Wicht zu dienen und ihn zu bespaßen. Leider weitete sich der Horizont bei einigen Menschen

im Lauf ihres Lebens nur wenig. In höherem Alter schrumpft er auch nach einem weiträumigen Wirken oft wieder auf die Horizontweite eines Kleinkindes.

In einer Region, in der immer wieder Vorsorge für den kommenden Winter und die fernere Zukunft getroffen werden musste, umfasst der Planungs- und Wirkungshorizont der meisten Menschen Dank der Evolution die gesamte beeinflussbare Zukunft. Darum sind die meisten Menschen motiviert, ihr Leben für sich selbst und ihre Gemeinschaft erfolgreich und befriedigend zu gestalten. Sie erkennen die Notwendigkeit gründlicher Ausbildung und verlässlichen Einsatzes im Beruf.

Unsere Sorge und unsere Überlegungen müssen denen gelten, denen es bei gegebener Leistungsfähigkeit an hinreichender Motivation fehlt. Wenn die Früchte eigenen Handelns nicht alsbald nutzbar sind, werden sie für zu viele uninteressant: Es lohnt sich nicht, sich zu bemühen. Ihr Optimierungshorizont ist zu kurz, und immer weniger Lehrer und Eltern besitzen die Autorität, als Vorbilder motivierend zu wirken. Daher rafft sich manches Kind in der Schule nicht zu Fleiß und Ausdauer auf und verspielt so eine seiner Intelligenz angemessene Laufbahn. Fast 20% der 15-jährigen können immer noch nicht richtig lesen und Texte verstehen⁷. Dieser harte Kern von 20% *Bildungsverlierern* findet selten eine Lehrstelle, bricht häufig die Ausbildung ab und nimmt später selten an Fortbildung teil. Ein bedauernswerter Teil dieser 20% hat nicht die geistigen Voraussetzungen und lässt sich daher nicht ausbilden. Diese bedauernswerten Menschen muss die Gesellschaft alimentieren.

Bei einem anderen Teil dieser 20% sind alle Bemühungen mit Zugmotivation aber nur deshalb fehlgeschlagen, weil deren Horizont nicht bis in die Zeit des Arbeitslebens hineinreicht, in der es ihnen Leid tun wird, sich in der Jugend nicht hinreichend bemüht zu haben. Diese gilt es, in ihrem eigenen Interesse zu motivieren! Notfalls auch mit Druck.



Wir werden unserer Verantwortung für die junge Generation nicht gerecht, wenn uns kurzsichtige Güte eine vorübergehende Härte verbietet, die zur Sicherung der Zukunft des Einzelnen und der Gemeinschaft notwendig ist.

Sarrazin^{xviii} weist statistisch nach, dass sich die nicht ausbildungsfähige Unterschicht am stärksten vermehrt, und ihr Anteil an der Gesamtbevölkerung dadurch zugenommen hat. Dabei weist Sarrazin wiederholt darauf hin, dass statistische Analysen keine Prognosen erlauben, weil sich die Rahmenbedingungen der menschlichen Entwicklung fortwährend ändern und die stochastischen Prozesse im Leben daher keineswegs stationär sind. Diese Rahmenbedingungen müssen gezielt verändert werden, um bisher erkennbare Trends zum Positiven zu wenden. Hierfür macht Sarrazin konkrete Vorschläge.

⁷ Dieses Fazit zieht nach dpa der Bildungsbericht 2012 von Bund und Ländern.

Natürlich lassen sich die meisten aus der Unterschicht stammenden Kinder gut ausbilden. Dafür gibt es vom Hochschullehrer bis zum Bundeskanzler viele Beispiele. Die Statistik kann keine Aussagen über einzelne Individuen machen, wohl aber über das Verhalten und die Entwicklung größerer Gruppen von Menschen mit ähnlichen Eigenschaften. Diese statistischen Aussagen können im wesentlichen nur Mittelwerte sein. Die sind aber – zutreffende und konstante Anfangs- und Rahmenbedingungen vorausgesetzt – sehr zuverlässig. So ergibt sich, dass die Zahl der lernschwachen Kinder von Eltern ohne Schulabschluss im Mittel höher ist, als die Zahl der lernschwachen Kinder gebildeter Eltern. Das liegt zum Teil an den vererbten Genen, obwohl sich darüber nach Ansicht der Gerechten und Weisen zwar abstehende Ohren, nicht aber geistige Eigenschaften vererben lassen. Mit seinen Genen muss jeder leben. Verändern können und müssen wir aber die Rahmenbedingungen der kindlichen Entwicklung.

In kalten Klimazonen kann nur der überleben, dessen Optimierungshorizont das Ereignis des nächsten Winters umfasst und der für diese Notzeit vorsorgt. Der Optimierungshorizont umfasst hierbei knapp ein Jahr. Für einige Parlamentarier beträgt der Optimierungshorizont eine Legislaturperiode. Erfreulicherweise wird dennoch von der Politik in Anbetracht der globalen Auswirkungen unseres wirtschaftlichen und finanzpolitischen Verhaltens zunehmend die Nachhaltigkeit von Entscheidungen in ihrer Wirkung auf künftige Generationen angestrebt. Das scheitert oft an Interessenverbänden mit anderen Prioritäten und Horizonten.

Europäer mit weitem räumlichen Horizont helfen den jetzt in Afrika lebenden Menschen, zu überleben. Aber auch der zeitliche Horizont sollte der Tragweite des Handelns angemessen sein. Weitet man den zeitlichen Horizont auf den Zeitraum einiger künftiger Generationen von Afrikanern, so erkennt man, dass dieses Ausbremsen der natürlichen, oft sehr brutalen Mechanismen des ökologischen Gleichgewichts zu einer Bevölkerungsexplosion führen muss, mit der die Ernährungsbasis des Kontinents in Hungerkatastrophen nie gekannten Ausmaßes endgültig zusammenbrechen wird. Daher muss immer wieder versucht werden, die Hindernisse aus dem Weg zu räumen, die einer allgemeinen Geburtenkontrolle bisher im Wege stehen.

Zu weite Voraussicht wäre freilich auch nicht gut. Es würde der Jugend ihre Tatkraft und Frische nehmen, wenn sie bereits das Greisenalter in ihre Planungen einbeziehen würde.

5.4 *Lebensqualität* *Prognose und Dynamikbewertung*

Ihre Sinnesorgane liefern den Lebewesen Empfindungen, also Wertmerkmale, die nach Abb.5.1 durch Bewertungsfaktoren in den aktuellen Nutzen umgerechnet werden müssen; schon deshalb, damit sie durch eine gemeinsame Einheit vergleichbar werden. In der Wirtschaft rechnet man in Euro und Cent. In Lebewesen repräsentiert die Stärke der durch elektrische Ströme oder chemische Botenstoffe übertragenen Signale einen mehr oder weniger großen Nutzen. Kosten haben bekanntlich negativen Nutzen.

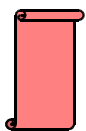
Proportional-, Integral-, Differential- und Prognosebewertung

Unsere Lebensqualität wird nur zum Teil durch den Nutzen bestimmt, den wir momentan, also in der Gegenwart empfinden. Die zugehörigen Wertmerkmale werden mit einem Bewertungsfaktor multipliziert und gehen so **proportional** in die empfundene Lebensqualität ein. In der Regelungstechnik heißt eine Baugruppe, die in Abb.5.1 einen proportionalen Beitrag liefert, P-Glied.

Solange wir Hunger und Durst leiden, beeinträchtigt das unsere Lebensqualität recht gleichmäßig.

Die alten Griechen und Römer wussten schon, wie das Denken der Sterblichen in das turbulente Geschehen dieser geheimnisvollen Welt eingebunden ist. *Variatio delectat* sagt der Lateiner: Die Veränderung erfreut. Sonst ist das Leben *langweilig*. Wer der Mathematik ein wenig kundig ist, wünscht seinem Freund einen *positiven Differentialquotienten*. In der Regelungstechnik heißen Baugruppen, die den **Differentialquotienten** berücksichtigen, D-Glied. Positiv sollten die Veränderungen schon sein, wenngleich es im Leben des Einzelnen auch mal abwärts gehen muss, damit es wieder aufwärts gehen kann.

Sprichworte enthalten oft viel Lebenserfahrung: „Es ist so schön, wenn der Schmerz nachlässt.“
„Es ist nicht schlimm, wenn es mir schlecht geht. Hauptsache, dem Nachbarn geht es nicht besser.“



Der Mensch strebt weniger nach einer absolut hohen Lebensqualität, sondern wertet sie besonders hoch, wenn sie größer ist, als zuvor, oder größer, als die der Nachbarn.

Von der Wirtschaft erwarten alle Politiker einen zwar nicht pausenlosen, aber ewig währenden Aufschwung. Im Vertrauen darauf häufen sie immer mehr Schulden auf die Schultern kommender Generationen.

Das D-Glied in Abb.5.1 verstärkt auch Unterschiede zu vergleichbaren Objekten (Kontrasteffekt).

Eine junge Frau hat in einer Disco sicher größere Chancen, wenn sie dort in Begleitung von weniger attraktiven Mädchen aufkreuzt, als wenn sie sich mit Schönheitsköniginnen umgibt.

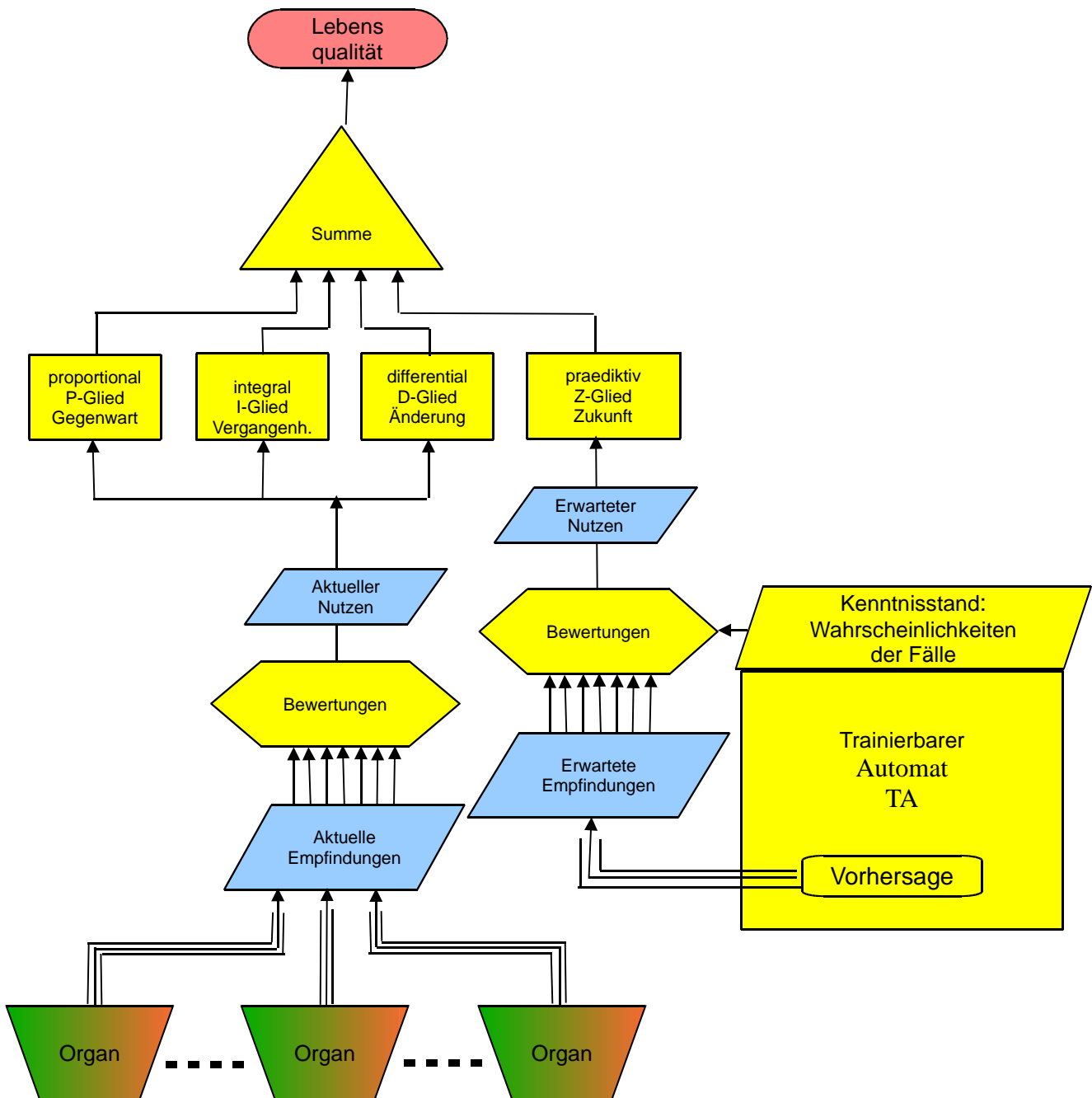


Abb.5.1: Die Summe der aktuellen, bewerteten Wertmerkmale von Gegenwart, Vergangenheit und Zukunft ergibt vom Individuum empfundene Lebensqualität.

Die empfundene Lebensqualität wird also über das P-Glied durch den aktuellen Nutzen bestimmt und über das D-Glied durch dessen aktuelle Veränderungen. Psychologen haben experimentell nachgewiesen^{xix}, dass in der Erinnerung die Dauer

einer Empfindung keine wesentliche Rolle spielt, wohl aber die stärkste und die letzte Empfindung einer Erfahrung.

Nur primitive Lebewesen lassen ausschließlich den Augenblick auf ihr Gemüt wirken. Die meisten Menschen bedürfen des Alkohols, um ihren Erfahrungshorizont auf die Gegenwart zu beschränken, die Last der Vergangenheit einen Augenblick zu vergessen und die Sorgen über die Zukunft in ein Glas Wein zu schütten. Pleiten, Pech und Pannen der Vergangenheit drücken auch im schönsten Sonnenschein auf unser Gemüt. Sie wirken leider länger nach, als dem Betrage nach gleich zu bewertende Erfolge, Freuden und frohe Stunden. In Analogie zur Regelung technischer Prozesse integrieren I-Glieder den Nutzen der Vergangenheit.

Technische Regler können mit Hilfe von Prädiktoren in begrenztem Maße in die Zukunft schauen. Das kann der TA weit besser, denn seine Erfahrungen enthalten die künftigen Erlebnisse, die jeweils auf die aktuellen Erlebnisse folgen werden. Erfahrungen enthalten auch die Wertmerkmale künftiger Erlebnisse. Diese Wertmerkmale werden nach Abb.4.3 bewertet, wobei die momentanen Wahrscheinlichkeiten der möglichen Fälle berücksichtigt werden, um den Erwartungswert des Nutzens zu ermitteln und als Nutzen der **Zukunft** in die Empfindung der Lebensqualität einfließen zu lassen. So ergibt sich eine **Langzeitoptimierung**.

Es ist in jedem Fall nicht ungefährlich, sich für ein Verhalten zu entscheiden, das wahrscheinlich großen Nutzen bringt, unter Umständen aber untragbare Kosten verursachen kann. Man darf nicht verwegen davon ausgehen, dieser Fall werde wohl nicht eintreten, weil dessen Wahrscheinlichkeit so gering ist. Das Produkt aus Wahrscheinlichkeit und Kosten, also der Erwartungswert der Kosten, das **Risiko**, mag für den Fall erträglich scheinen. Wenn der Fall aber tatsächlich eintritt, kann er uns durch seine hohen Kosten völlig ruinieren. Es ist individuell verschieden, wie stark der Erwartungswert und wie stark der Maximalwert der Kosten in Entscheidungen und in die Lebensqualität eingehen. Es sollten stets nur Alternativen in Betracht gezogen werden, deren Kosten auf jeden Fall unterhalb einer Schmerzgrenze bleiben.

In Produktionsbetrieben schlagen Kosten und Nutzen mit entsprechenden Vorzeichen gleich stark zu Buche. Menschen sind in ihren Bewertungen nicht so konsequent. **Optimismus und Pessimismus** können angeboren oder krankheitsbedingt sein. Optimisten werten in einem der Bewertungsflüsse von Abb.5.1 negative Erlebnisse weniger stark als positive. Bei den Pessimisten und Menschen, die unter Depressionen leiden, ist es umgekehrt. Negative Erlebnisse werden normalerweise eher vergessen, wenn wir uns an eine Urlaubsreise oder die Aufzucht unserer Kinder erinnern, als frohe Ereignisse. Wichtiger aber dürfte sein, dass Menschen mit erfahrungsbasiertem **Selbstvertrauen**, erworben durch erfolgreiche Lösung verschiedenartiger Probleme, Bedenken eher zurückstellen, als andere: „Da habe ich

schon ganz andere Probleme gelöst!“ Dieses Selbstvertrauen lässt sich durch weitgehend beliebige, erfolgversprechende Aktivitäten mit überschaubarem Risiko trainieren. Optimismus, der aus Selbstvertrauen wächst, bleibt sich in der Regel des Risikos bewusst. Das ist der Geist, der erfolgreiche Unternehmer auszeichnet.

Aufstieg und Abstieg

Der mit dem Auge erkennbare Optimierungshorizont eines Wanderers reicht offensichtlich nur bis zu der verlockenden Anhöhe, der er gerade zustrebt. Als erstrebenswerte Anhöhe ist auch ein berufliches Ziel oder die Hochzeit mit einem geliebten Wesen anzusehen. Über das Wirkungsfeld jenseits dieser Anhöhe besitzen wir kaum eigenen Erfahrungen, kennen jedoch diese Gefilde aus Erzählungen oder eigene Beobachtungen recht gut, wissen also, dass die Tretmühle des Berufs und der Ehealltag nicht eitel Freude bringen, und dass die Schönheit der Jugend mehr oder weniger schnell verweht. Dennoch sind wir geneigt, diese fremden Erfahrungen zu übersehen und den Blick entschlossen auf die verlockende Anhöhe zu richten. Wenn wir das nicht täten, hätte die Evolution des Menschen wohl bereits ein ruhmloses Ende gefunden.

Wenn wir allerdings die Anhöhe erklommen und das Ziel erreicht haben, wenn wir beispielsweise einen Examen bestanden haben, macht sich eine gewisse Leere in uns breit und die Enttäuschung darüber, dass der Ausblick uns nicht so glücklich macht, wie wir gehofft hatten, während wir uns aufwärts gequält haben.

Im Zuge der Evolution ist das für die Entwicklung der Arten sinnvolle Streben entstanden, sich über seine Artgenossen zu erheben. Den stärksten gelingt das. Doch je höher die erreichte Position ist, desto weniger Lebewesen können diese Position bis ans Ende ihrer Tage verteidigen und behaupten, ohne sich dabei körperlich, geistig und seelisch aufzureiben. Irgendwann folgt dem Aufstieg mit großer Wahrscheinlichkeit der Abstieg zurück in die Masse, den wiederum mancher seelisch nicht verkräftet, der schon geglaubt hat, er könne sich im Fluge über das gemeine Volk erheben. Durch die Schadenfreude der Erfolglosen wird das noch verstärkt. Beim Aufstieg wurde das Wissen über den permanenten Zwang zur Verteidigung der eroberten Anhöhe ebenso verdrängt, wie die Ahnung vom Abstieg und seinen Leiden. Und das ist gut so! Auch im Sinne der Evolution.

Herrscher im Tierreich sind zu einsamem, trostlosem Alter verdammt, sobald sie Jüngeren weichen müssen. Wir Menschen sollten den Aufstieg in einsame Höhen nur wagen, wenn wir uns auf liebe Partner und treue Freunde verlassen können, die uns wieder in ihre Arme nehmen, wenn wir gescheitert von der Höhe herab kommen. Manchen hat es zerschmettert, wenn er vom Erfolg verlassen in die Tiefe stürzte und dort auf keine Liebe traf, die ihn sanft auffing.



6 Gefühle und Moral Empfindungsmanagement

6.1 Das Mitgefühl Mitleid, Vorurteil und Schadenfreude

Mit den in Kapitel 3.7 postulierten **Agenten** (Fremd-TAs) im Kopf, die das Verhalten unserer Mitmenschen simulieren und vorhersagen, können wir uns in Verhandlungen und anderen Interaktionen gut auf unsere Kontrahenten einstellen. Auch wenn so ein Agent ganz schön clever sein muss - kann man von ihm auch noch **Empfindungen** erwarten? Die Organe unseres eigenen Körpers melden Empfindungen zusammen mit ihren Handlungen und Wahrnehmungen unserem Zentral-TA, der sie gemeinsam als Erlebnis in seinen Erfahrungen speichert. Wie aber erfährt ein Agent, der es sich in unserem Kopf gemütlich gemacht hat, etwas über die Empfindungen des Mitmenschen, den er simulieren soll?

An der Mimik eines Gesprächspartners oder Kontrahenten lassen sich momentane Empfindungen ablesen, wenn er ein offenes Gemüt hat und kein Pokerface aufsetzt. Sehr zuverlässig ist diese **Empathie**, die Fähigkeit, Gefühlsregungen bei Anderen zu erkennen, nicht. Sie lässt sich leicht täuschen, wenn z.B. ein kerngesunder Bettler eine Leidensmine aufsetzt und leise vor sich hin stöhnt. Wenn Menschen echte Sorgen mit sich herumtragen, hat unser Auge selten Gelegenheit, das sensorisch wahrzunehmen.



Oft wird die **Gemütsverfassung** eines Freundes oder Feindes durch logische Schlüsse aus seinen Lebensumständen ermittelt,

wenn, ja wenn wir uns die Mühe machen, darüber nachzudenken. Wie realistisch wir fremdes Leid, das logisch erschlossen worden ist, nachempfinden können, hängt davon ab, ob wir jemals ähnliches Leid erfahren haben. Wer bereits ähnliche Situationen erlebt hat, empfindet **Mitleid** naturgemäß intensiver. Doch das Leben pflegt weiter zu gehen, und das Mitleid verklingt im Trubel anderer Erlebnisse. Man hat schließlich selbst einen Koffer voller Sorgen.

Das Leiden anderer ist keineswegs immer mit immanenten Schmerzen, Hunger und vielfältigen Sorgen verbunden, die jeder, um richtig mitleiden zu können, erfahren haben sollte, auch wenn er darauf nie Wert gelegt hat. Wenn wir Anderen, die sich bisher pudelwohl gefühlt haben, durch persönliche, geschäftliche oder politische Entscheidungen Nachteile bringen, sollte das in uns



Erfahrungen aktivieren, in denen uns selbst etwas geschah,
das mit dem vergleichbar ist, was wir jetzt Anderen antun.

Mit diesen Erfahrungen können wir uns dann in Verhandlungen und anderen Auseinandersetzungen in das Gemüt des Kontrahenten hinein versetzen, den wir im Begriff sind, übers Ohr zu hauen. Es könnte eine Funktion der in unserem Kopf residierenden Agenten sein, uns die Enttäuschung, die Wut und andere Empfindungen zu Gemüte zu führen, die das von uns beabsichtigte Verhalten im Kontrahenten erzeugen wird. Ob sich der Agent damit durchsetzen kann, hängt davon ab, wie stark die von ihm gemeldeten Empfindungen vom Zentral-TA bewertet werden.

Über Menschen, die wir kennen oder zu kennen meinen, haben wir Erfahrungen gesammelt. Diese Erfahrungen enthalten die Empfindungen, die das Erlebnis dieser Menschen in uns erzeugt hat. Darauf basiert eine Wertung, die wir mit dem ganzen Menschen verbinden. Das beschleunigt Entscheidungen, weil wir nicht jedes Mal ein ganzes Charakterbild neu erstellen müssen.



Ein **Vorurteil** kann dann entstehen,
wenn die Bewertung auf Analogieschlüssen beruht.

Analogieschlüsse sind, wie alle statistischen Schlüsse, dann und nur dann zulässig, wenn sie auf Erfahrungen über hinreichend viele Repräsentanten beruhen. Dann lässt sich angeben, mit welcher Wahrscheinlichkeit sie zutreffen.

Der Analogieschluss „Herr Meier mit seinen langen Haaren kommt als Bewerber nicht in Betracht, denn ich habe viele Langhaarige als Gammler erlebt“ ist ein Vorurteil, denn er beruht sicher nicht auf einer repräsentativen Menge von Erfahrungen.

Einen Menschen, der uns freundlich und wohlwollend gegenüber tritt und dessen Verhalten wir als vorwiegend positiv empfunden haben, bewerten wir zunächst insgesamt positiv. Wir empfinden seine Anwesenheit als angenehm und **vertrauen** ihm. Mit der Wahrnehmung dieser Person ist ein positives Empfinden verbunden, ein positives Wertmerkmal, um diesen kaufmännischen Begriff einmal wieder zu gebrauchen. Der zuständige Agent muss alles möglichst so bewerten, wie die Person das tun würde, die er in unserem Gehirn repräsentiert. Diese Aufgabe ist nicht eben trivial. Weil sie für die Funktion des Gewissens noch wichtiger ist, als für das reine Mitgefühl, soll sie später etwas ausführlicher behandelt werden.

Einem lieben Menschen, also einer Person, die wir positiv bewerten, gönnen wir Freude und Erfolg und freuen uns mit ihm. Leider ärgert sich der Mensch bisweilen, wenn es anderen gut geht. Das wird **Neid** genannt. Deren Leid bewertet er hingegen positiv und empfindet darüber **Schadenfreude**.

Wenn wir Karl sagen wollen, dass er ein Hornochse ist, flüstert uns Karls Agent heimlich zu, dass Karl darüber nicht erfreut sein wird. Daraufhin werden wir unseren Freund Karl nur bitten, die Angelegenheit noch einmal zu überdenken. Wenn wir Karl aber nicht mögen, können wir der Versuchung, ihn zu beleidigen, vielleicht nur widerstehen, wenn uns Karls Agent wissen lässt, dass Karl zu Gewalttätigkeiten neigt.

Wenn uns jemand Böses tut, kann **Hass** entstehen, der nachhaltiger zu wirken scheint, als Schadenfreude. Doch lässt uns angenehmere Töne anstimmen und freudenvollere!



6.2 *Freundschaft und Liebe* *Rückgekoppelte Wirkungskreise*

Spekulationen über die edle Natur der Liebe erfordern besonderes Taktgefühl, weil sich hier jeder Jünger der Venus als erfahrener Experte fühlt. In zahllosen Romanen wird geschrieben und auf allen Bühnen wird gesungen: „Die Liebe ist eine Himmelsmacht“. Die „**süßen Triebe**“, die Initialzündung der Liebe zwischen Mann und Frau, hat ein jeder schon gefühlt. Sigmund Freud hat den Sexualtrieb zum Motor jeglichen Verhaltens erklärt, der uns Erdenbürger willenlos ins Glück oder Unglück stürzen kann. Das gilt inzwischen als übertrieben, doch bestimmte visuelle, taktile oder olfaktorische (Geruchs-) Reize lösen zweifellos starke Empfindungen aus, die unser Verhalten regelrecht beherrschen können. Kulturkreise, in deren Entstehungsphase die Männer sich gegenseitig den harmlosen Anblick einer hübschen Frau nicht gegönnt haben, verdrängen auch heute noch alle weiblichen Reize restlos in die Abgeschlossenheit häuslicher Gemächer. Das wäre in den Regionen sinnvoll, wo sich Aids dramatisch ausbreitet, weil die Triebe nicht unter Kontrolle sind.

Im Abendland war die Liebe seit Ovid bei den alten Römern und dann wieder seit den Minnesängern im Mittelalter ein tragendes Element unserer Kultur. Wie viel Schönes und Edles ist da geschaffen worden und hat der Liebe die Würde gegeben, die sie über den biologischen Akt weit emporhebt! Heute ist sie auf der Bühne teilweise zu Exzessen entartet, deren Anblick unsere großen Dichter im Grabe rotieren lassen würden. Schiller nimmt in seinem Werk „An die Künstler“ die Kunstschaffenden in die Pflicht:

*Der Menschen Würde ist in Eure Hand gegeben.
Bewahret sie! Sie fällt mit Euch,
mit Euch wird sie sich heben.*

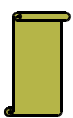
Doch zu wenige Intendanten lassen sich noch vom alten Schiller in die *Pflicht* nehmen. *Würde* scheint im Abendland zunehmend obsolet zu werden. Haben Worte,

wie *Scham* und *Anstand* hier noch eine Bedeutung?

Das Bestreben, einen guten Eindruck auf seine Mitmenschen zu machen, fördert, wie in Kapitel 6.3 erläutert werden wird, die Bildung von sozialem Empfinden, Ethik und Gewissen. Zwar hat es schon immer einen guten Eindruck hinterlassen, fortschrittlich zu wirken. Die oft auf unseren Bühnen zur Schau gestellte Fortschrittlichkeit sollte allerdings von einem Geist getragen werden, der nachhaltig neue Werte zu schaffen bemüht ist, wenn er schon bestehende Werte und Normen auflöst. Denn ohne tragfähige Werte und Normen hat noch keine Gesellschaft Bestand gehabt.

Die romantische Liebe soll gewiss nicht, auch nicht versuchsweise, mit einem Automaten, wie dem TA, erklärt werden. Die schöne Gefühlswelt der Liebe kann ruhig ein wenig geheimnisvoll bleiben. Es ist jedoch von allgemeinerem Interesse, dass sich zwischenmenschliche Gefühle, Vertrauen und Liebe in **gegenseitiger Wechselwirkung** verstärken. Bei der Analyse dieser Rückkopplung soll es generell um Sympathie und Freundschaft, aber auch um negative Gefühle gehen.

Einen Menschen, der zu uns passt, werden wir stets, oder doch meistens, schon im ersten Eindruck ein wenig sympathisch finden. Wird er dann im Kontext eines als angenehm empfundenen Verhaltens und eines positiven Umfeldes erlebt, reagieren wir selbst mit positiver Mimik, Gestik, Sprachmelodie und vor allem mit zunehmendem Wohlwollen. Das löst wiederum beim Partner immer positivere Reaktionen aus. So gehen beide mit jedem zunächst zaghaften Schritt näher auf einander zu und reagieren dabei immer positiver.



Durch wechselseitige Bekundung von Einschätzungen und Gefühlen entsteht ein Wirkungskreis mit **positiver Rückkopplung**, der diese Empfindungen verstärkt.

Diese Rückkopplung kann jedoch aussetzen, wenn die Sympathie des Partners zu weit hinter der eigenen zurückbleibt. Es fördert andererseits sicher nicht die Zuneigung, wenn der Partner Liebesbezeugungen immer nur passiv über sich ergehen lässt. Die positive Rückkopplung durch Wechselwirkung zwischen den Partnern wird auch nachhaltig unterbrochen, wenn ein Partner sich immer wieder negativ über den anderen äußert.

Positive Rückkopplungen sind in der Technik als Mitkopplungen bekannt und gefürchtet, weil sie zu Instabilitäten führen: Schwingungen schaukeln sich auf, bis eine Sättigung erreicht ist. Das gilt in der Technik, wohlgemerkt. Die Stabilität menschlicher Beziehungen wird eher dadurch zerstört, dass Meinungsverschiedenheiten und Streit sich durch die soeben geschilderte positive Rückkopplung hochschaukeln. Das nennt man dann einen *Teufelskreis*. Es kann auch vorkommen, dass die Schwingungen der Zuneigung durch zähe, unterschiedlich bewertete

Widrigkeiten des Alltags gedämpft werden, bis sie schließlich abklingen und sang- und klanglos verschwinden.

Es wäre wunderbar, wenn die Liebe, die allen Nächsten nur Gutes wünscht und daher bemüht ist, sie dieses Guten teilhaftig werden zu lassen, zwischen allen Menschen einkehrt. Diese **Nächstenliebe** ist die leuchtende Grundlage der **christlichen Ethik** und wird von vielen in tiefem Glauben gelebt. Das strahlt aus und schafft eine Atmosphäre der Harmonie und der Geborgenheit. Als staatstragend hat sich die Nächstenliebe allerdings nie erwiesen. Entweder wurde sie in ihrer Friedfertigkeit mit Anfeindungen von außen nicht fertig oder sie wurde intolerant. Liebe – mit oder ohne süße Triebe – darf dem Nächsten nicht vorschreiben, was gut für ihn ist. Das festzulegen, muss sie dem Nächsten wohlwollend selbst überlassen.

Leitmotiv der Inquisitoren: 'Damit Du Häretiker nicht Deines ewigen Seelenheils verlustig gehst, erweise ich Dir die Gnade, Dich auf dem Scheiterhaufen zu verbrennen.' Doch die Inquisition ist ein weites Feld, über das man so kurz nicht urteilen sollte.

6.3 *Das Gewissen* *Normen, Anerkennung und Strafe*

Viele Moraltheorien gehen davon aus, dass in unserem Kopf ein permanenter Kampf tobt zwischen edel denkender Logik und verantwortungslosen Gefühlen. In diese philosophische **Ethik** lässt sich die Denkwelt des Trainierbaren Automaten TA nicht eingliedern, denn in die Entscheidungen des TA geht sowohl auf der theoretischen als auch auf der terminalen Ebene immer beides ein: Die logische Verknüpfung von Symbolen und die Bewertung von Empfindungen zur Optimierung des Nutzens. Darüber hinaus werden nicht nur die eigenen Erlebnisse und Erfahrungen des Zentral-TA ausgewertet, sondern die Agenten bringen die Bewertung unseres geplanten Verhaltens durch unsere Mitmenschen ein. Letztlich kommt es darauf an, wie stark unser Ego seine eigenen Vorhersagen und wie stark es die Vorhersagen seiner Agenten bewertet.




Der Nutzens für das eigene Ego und der Nutzen für die durch Agenten vertretenen Mitmenschen wird individuell bewertet und gemeinsam optimiert.

Konflikte treten auf, wenn der erwartete Nutzen mehrerer Verhaltens-alternativen sich nicht signifikant unterscheidet.

Schiller schildert in seinen Dramen Konflikte zwischen **Pflicht^{xx}** und **Neigung**, die je nach dem Kontext von Erfahrungen und Erlebnissen unterschiedlich entschieden werden. Was uns heute maßlos schmerzt und ärgert, kann uns schon morgen vielleicht

völlig kalt lassen. Was wir heute als unmoralisch ablehnen, rechtfertigen wir vielleicht schon morgen durch andere moralische Rücksichtnahmen, weil wir die Ausgangssituation in Relation zu neuen Erfahrungen sehen.

Hier redet uns niemand ins Gewissen, greift in unsere Logik ein oder verfälscht gar die Wahrscheinlichkeiten in unserem Kenntnisstand. Gott könnte vielleicht durch Regulierung von Bewertungen in unserer Planungen eingreifen. In Anbetracht des Verhaltens von Hitler, Stalin und anderen Verbrechern müssten wir dann aber auch dem Teufel diese Fähigkeit zugestehen, wovon zum Beispiel die Sekte der Katharer überzeugt war. Es ist nicht erkennbar, dass es im Menschen ein Optimierungskriterium und einen funktionalen Zusammenhang gibt, der Bewertungen von Empfindungen im Laufe des Lebens verändert. Im Folgenden wird daher von der Hypothese ausgegangen:

 **Bewertungen ändern** sich im Menschen durch Evolution, bleiben aber von der Geburt bis zum Tode weitgehend konstant. Im Gegensatz dazu kann der Benutzer einen TA mit Sensoren und Organen für beliebige Wertmerkmale ausrüsten und deren Bewertungen beliebig vorgeben und zielgerecht ändern.

Das ermöglicht es, dem TA eine Moral vorzugeben, die er nicht ändern kann, und andererseits den TA an Veränderungen der Marktlage anzupassen.

Den Sensoren in menschlichen Organen müssen wir allerdings altersbedingte Veränderungen zubilligen, die bei im übrigen gleichen Erlebnissen quantitativ veränderte Empfindungen erzeugen. Außerdem verkürzen sich Optimierungshorizonte im allgemeinen im Alter. Andererseits kann nach Bewältigung der eigenen Lebensprobleme die Sorge um die Zukunft kommender Geschlechter auch zunehmen. Ferner gewinnt der Mensch im Laufe seines Daseins andere Erfahrungen über das Leben, dessen zu erwartende Wertschöpfung und dessen Ende, als in der Jugend. Im Zusammenwirken von Erfahrungen und deren Empfindungen trifft das Alter daher andere Entscheidungen.

Es ist ein großes Verdienst der **Kirche**, im Laufe von Generationen die Bewertung der Einwände und Vorschläge unserer Agenten verstärkt zu haben. Darüber hinaus hat sie für das Gemeinwohl ethische Normen gesetzt und gelehrt, die der Freiheit des Ego im Interesse der Gemeinschaft unverzichtbare Grenzen setzen. Zur Durchsetzung dieser Ethik war die Belohnung durch das ewige Leben einerseits und die Strafandrohung des Fegefeuers andererseits unerlässlich. Mit diesen Verheißungen ließ sich sogar verhindern, dass sich die Menschen reihenweise eigenhändig das Leben nahmen, das im Mittelalter miserabel und nur zu oft unerträglich war. Bisher hat kein Volk ohne jegliche Religion überleben können. Moral wurde nicht nur in der Kirche gepredigt, sondern auch in Schule und Elternhaus vermittelt und vorgelebt.

Regelmäßig wiederkehrende Belehrung und die Androhung von Belohnung und

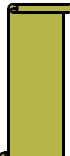
Strafe können uns arme Sünder jedoch nicht immer auf dem Pfad der Tugend halten. Viel wirksamer sind die Verstärkung gemeinnütziger Eigenschaften durch Rückkopplung in geschlossenen Wirkungskreisen nach Kapitel 6.2.

Streben nach Anerkennung

Tugendhafte Menschen sind nicht nur in christlichen Gemeinschaften anerkannt und beliebt. Sie werden auch als Geschäftspartner, als Mitarbeiter und als Ehepartner bevorzugt. Es lohnt sich daher für den Einzelnen, sich um seinen sozialen Erscheinungsbild, sein *image*, zu bemühen und es zu pflegen. Wenn er sich um ein entsprechendes Verhalten bemüht, nützt das allen. Das Streben jedes Menschen nach Anerkennung durch seine Nächsten hat sich stammesgeschichtlich als überlebenswichtig erwiesen und könnte daher durch die Evolution in unseren Genen verankert worden sein. Schon unser Urahn am Feuer vor seiner Felsenhöhle war bemüht, auf seine Mitmenschen einen guten Eindruck zu machen.

Das tolpatschige Verhalten eines Kleinkindes erregt fast immer Heiterkeit. Wenn wir aber älter werden, sind unsere Mitmenschen nicht immer von unserem Erscheinungsbild und unserem Verhalten angetan. Wenn wir jemandem gegenüber übertreten, gewinnt der schnell einen ersten Eindruck von unserer Persönlichkeit und deren Accessoires (Kleidung, Auto), bevor wir irgend etwas gesagt oder getan haben. Seine Wahrnehmungen liefern nicht nur Symbole, denen er aufgrund seiner Erfahrungen Erlebnisse und Namen von ähnlichen Menschen assoziiert. Der Andere erlebt uns auch durch Empfindungen, die seine Organe seinem Gehirn melden, wie froh/traurig, energisch/weich oder gepflegt/ungepflegt wir erscheinen. Jede der Empfindungen wird durch einen positiven/negativen Wert repräsentiert, der auf einer Nervenleitung dem Gehirn zugeführt wird. Bisweilen, aber keineswegs immer, nehmen wir selber wahr, ob wir einen guten Eindruck gemacht haben.

Jeder Mitmensch, dem wir näher treten, wird nicht nur unseren äußeren Eindruck, sondern auch unsere Rede und unser Verhalten bewerten. Uns hilft es, wenn er uns diese Bewertung durch Gestik, Mimik oder auch durch klare Worte mitteilt. Egal, ob diese Mitteilung ihren Ursprung in Wohlwollen oder Verärgerung hat, in jedem Fall gewinnen wir eine Erfahrung über unser Verhalten und darüber, wie sehr es gefallen oder missfallen hat. Wie stark wir dieses Erlebnis in unserer Erfahrung werten, hängt auch von unserer eigenen Wertschätzung des Mitmenschen ab, dem wir diese Kritik verdanken. Wir wollen schließlich nicht zu Konformisten werden, die jedem zu gefallen suchen. Aber:

 Wer sich allgemeiner Wertschätzung erfreuen und vorankommen will, wird durch Kritik und Beifall ermuntert, sein Auftreten und sein Verhalten weitgehend an ethische und **gesellschaftliche Normen** anzupassen.

Dies ist wieder ein geschlossener Wirkungskreis.

Der Mensch spürt fremde Wertschätzung, wenn sie ihm zuteil wird. Signale, die freundliche, wohlwollende Mimik und Gestik melden, gehen in Abb.5.1 nicht nur proportional, sondern auch über längere Zeiträume integriert in unsere Lebensqualität ein. Dieser Integralwert zeigt an, ob wir uns beständiger Wertschätzung erfreuen. Wenn ein Prüfer, der uns lange sehr skeptisch angesehen hat, plötzlich Wohlwollen ausstrahlt, wird diese positive Veränderung besonders stark empfunden. Das Alles wird auch für andere Empfindungen gelten, die unsere Einbettung in das soziale Umfeld melden.

Wenn es keiner merkt und es bequemer ist, missachten Zeitgenossen gelegentlich gültige Normen; zumal dann, wenn dadurch kein Schaden entsteht. Bisweilen ist es manchem auch egal, ob Schaden entsteht oder nicht, solange ihnen niemand schuldhaftes Verhalten nachweisen kann und/oder der Schaden auf viele Häupter verteilt wird. Solche Zeitgenossen überlegen oft nicht einmal, dass ein kleiner Steuer- und Versicherungsbetrug letztlich auch sie trifft, weil Staat und Versicherungen ihre Steuern und Beiträge senken könnten, wenn es diese kleinen Betrüger nicht gäbe. Daher kann sich so ein Schelm sogar mit seiner Cleverness brüsten und sieht die allgemeine Wertschätzung seiner edlen Person gestärkt.

Wie kommt es, dass wir andererseits bisweilen Gutes tun, auch wenn wir dadurch bei niemandem Eindruck machen, auf dessen Einschätzung wir Wert legen? Wir drücken schon mal einem alten Mütterchen vor einem Kirchenportal einen Euro in die Hand oder überweisen eine Spende an einen wohltätigen Verein, ohne ein dankbares Lächeln zu ernten. Wie kommt es, dass *edle* Menschen ihre Pflicht tun und auch dann unbestechlich bleiben, wenn es ihnen schwer fällt, und sie den Pfad der Tugend gefahrlos verlassen könnten?

Agenten fremder Interessen

Im natürlichen Biotop war der Mensch zum Erjagen von Beute und zur Abwehr von Feinden ebenso auf Kooperation angewiesen, wie zur sicheren Betreuung seines Nachwuchses. Daher war zum Überleben eines Stammesverbandes eine gewisse soziale Ethik im Verhalten seiner Individuen unter einander zwingend erforderlich. Ein Stamm ohne Gemeinsinn ging einfach unter. Die **Evolution** hat im Laufe von Jahrmillionen durch Selektion von Individuen und von ganzen Stämmen Genmutationen unterstützt, die den lebensnotwendigen Gemeinsinn gestärkt haben. Vielleicht ist auf diese Weise auch die Empfindung von Freude an selbstlosem Handeln und Pflichterfüllung in unseren Genen verankert worden und beeinflusst unsere Entscheidungen.

Zwar ist es immer leicht, die Gene für ein Verhaltensphänomen verantwortlich zu


machen. Aber es ist doch durchaus vorstellbar, dass durch Zufälle der Evolution ein **Gen** entstanden ist, das in unserem Gehirn eine Struktur wachsen lässt, die bei selbstlosen und pflichtbewussten Erlebnissen das Signal einer positiven Empfindung generiert. Diese Empfindung könnte dann in die Ermittlung unserer Lebensqualität nach Abb.5.1 einfließen.

Eine solche Empfindung ließe sich keinem bestimmten terminalen Erlebnis zuordnen. Ein *terminales* Erlebnis in der untersten Ebene eines hierarchischen Schemas ist unmittelbar mit den Ein- und Ausgängen der Organe verbunden. Hingegen geht es hier um Empfindungen, die mit einem komplexen Verhalten verbunden sind, das viele terminale Erlebnisse umfasst und als *nichtterminales* Erlebnis in unsere Erfahrungen eingebunden ist. Ein solches **Metaerlebnis** umfasst nach Kapitel 2.2 ganze Fälle, also ganze Ketten von Erlebnissen, die wiederum ganze Fälle in einer tieferen Ebene der Hierarchie repräsentieren können. Einem Metaerlebnis lässt sich keine bestimmte Handlung oder Wahrnehmung zuordnen, wohl aber eine Empfindung. Es trifft sich gut, dass in der Datenstruktur von Metaerlebnissen der Platz der Empfindungen noch nicht belegt worden ist.

Das ist alles schön und gut. Aber wie gelangt die Empfindung in das Metaerlebnis? Terminale Erlebnissen erhalten ihre Empfindung von einem Organ. Man könnte nun ein *Metaorgan* postulieren, das durch die Evolution eingerichtet worden ist, um Metaempfindungen zu liefern. Unter welchen Bedingungen soll es die liefern? Offenbar, wenn die einzelnen Erlebnisse, aus denen das Metaerlebnis besteht, ein gutes, pflichtbewusstes Verhalten beschreiben. Wer stellt das fest? Natürlich das Metaorgan. Aufgrund welcher Kriterien bzw. Bedingungen? So kann man sich im Kreis drehen. Das Metaorgan scheint also keine gute Idee zu sein.

Ein Organ liefert Daten über Empfindungen des eigenen Körpers, wobei Handlungen und Wahrnehmungen hier außer Betracht bleiben. Soziales Verhalten benötigt Daten über Empfindungen der Gemeinschaft, in der wir leben; der Familie, der Stadt, des Volkes und schließlich der ganzen Menschheit. Denn deren Wohl gilt es zu berücksichtigen. Ein Modell jedes einzelnen Mitglieds einer Sippe ist in unserem Gehirn nicht vorstellbar, auch wenn es über sehr viele Neuronen verfügt. Aber ein Repräsentant jeder Sippe lässt sich nach den Kapiteln 3.7 und 6.1 im Gehirn als Agent installieren. Dabei kann offen bleiben, ob ein Agent über eine eigene Hardware oder nur über eine eigene Software verfügt.

Der Agent muss nicht unbedingt wissen, was ein bestimmter Repräsentant, beispielsweise Onkel Fritz empfinden wird, wenn er sieht, dass wir das Gras platt getreten haben, als wir oft über seinen Rasen gelaufen sind. Es genügt zunächst, wenn sein in unserem Kopf installierter Agent in unserem eigenen Erfahrungsschatz kramt und feststellt, was wir selbst empfinden, wenn wir sehen, dass jemand das Gras in unserem Garten platt getreten hat.

 Über die Empfindungen Anderer unterrichten uns **Agenten** in unserem Gehirn, die zunächst unsere eigenen Erfahrungen einschließlich der zugehörigen Empfindungen als Startdaten (default-Werte) nutzen, bis sie genügend Erfahrungen über die Empfindlichkeiten der Anderen gesammelt haben.

Ein Rechtsanwalt muss ähnlich vorgehen. Zunächst muss er seine eigenen Befindlichkeiten jedem neuen Mandanten unterstellen, bis er ihn besser kennen gelernt hat.

Bevor unser Zentral-TA sich entschließt, dem Finanzamt etwas zu verheimlichen, sollte er in der Kanzlei seines Gehirns einen Agenten fragen, was er als Steuerpflichtiger empfinden würde, wenn er den entstandenen Fehlbetrag ausgleichen muss. Natürlich kann der Zentral-TA das auch bleiben lassen. Derartige Agenten, die unsere lieben und bösen Mitmenschen repräsentieren, können aber sehr aufdringlich und lästig insistieren, wie ein Gewissen. Vielleicht sind sie ja unser **Gewissen**.

Eigentlich müsste die Schadensumme berücksichtigt werden, indem die Stärke dieser Empfindung mit der Zahl der Steuerpflichtigen multipliziert wird. Das bleibt jedoch allenfalls eine theoretische Überlegung. Für den einzelnen Steuerpflichtigen ist der Schaden so gering, dass er meistens einfach übersehen wird. Ferner lässt sich diese Wissensfunktion des Agenten leicht durch das Argument erschlagen: Andere tun das auch, und denen gegenüber wäre ich im Nachteil, wenn ich Gemeinsinn walten lassen würde. Jeder, der unmoralische Befehle ausführt, beruhigt sein Gewissen damit: Wenn ich es nicht tue, tut es ein Anderer. Und damit hat er oft Recht, zumal in einem unmoralischen Staat, der Opfer zu Untermenschen erklärt, denen keine Empfindungen zustehen. In jedem Krieg und auch in asozialem Milieu verrohen viele Menschen. Die Agenten, die unser Gewissen bilden, werden mundtot gemacht. Sonst wäre ihr Druck nicht auszuhalten. Erfreulicherweise regeneriert sich soziales Verhalten, sobald im Umfeld moralische Werte wieder die Oberhand gewinnen.

Man könnte untersuchen, wie viele Agenten der Durchschnittsmensch in seinem Gehirn beherbergt. Vielleicht hat er für jeden Menschentyp je einen Repräsentanten. Die postulierten Agenten vertreten den Leitsatz: *Was Du nicht willst, das man Dir tut, das füg' nicht meinem Mandanten zu*. Leider werden sie in dieser edlen Funktion oft durch angeblich wertfreie logische Argumente der eben genannten Art unterdrückt. Das gilt auch für den Ansporn zu guten Taten, den ein solcher Agent geben könnte. Die sachliche Überlegung nüchtern denkender Zeitgenossen, dass bereits mehr als 50% unserer Steuern für Arbeitsförderung und Soziales ausgegeben werden, bremst die freiwillige, selbstlose Hilfsbereitschaft und überlässt die Armen weitgehend der anonymen Fürsorge des Staates.

Wilhelm Busch sieht das lockerer:

*Doppelte Freude:
Ein Herr warf einem Bettelmann
Fünf Groschen in den Felber.
Das tat dem andern wohl, und dann
Tat es auch wohl ihm selber.
Der Eine, weil er gar so gut,
Kann sich von Herzen loben;
Der andre trinkt sich frischen Mut
Und fühlt sich auch gehoben.*

6.4 *Der Sinn des Lebens* *Lebensqualität und Gefühle*

Bevor Maschinen ihnen die Arbeit erleichterten, war es für alle nicht privilegierten Menschen ausgesprochen schwer, einen unmittelbaren Sinn im harten Erdenleben zu finden. Daher verhiessen kluge Propheten ein besseres Leben im Jenseits und spezifizierten hierfür die Voraussetzungen, die im Diesseits zu erfüllen dem Leben Sinn gab. Ideologen akzeptieren keine Religion, sondern konzipieren Programme und Manifeste für eine neue Weltordnung. Wer daran glaubt, kann mitwirken und gibt so seinem Leben Sinn, bis ihn die Realität enttäuscht.

Logik und Strafandrohung

Rückwirkend wird man gelegentlich feststellen, dass sehr oft das eigene Wohlgefühl und Ansehen mehrt, was man anderen Gutes tut. Diese Empfindungen sollten dann auch **rückwirkend** in das Metaerlebnis eingebaut werden, das die Empfindungen ausgelöst hat. Kinder sollten im Interesse der Gemeinschaft durch Belohnung und Strafe zu sozialem Verhalten erzogen werden, wozu auch Pflichtbewusstsein, Zuverlässigkeit und Ausdauer gehören. Durch derartige Belehrungen gehen entsprechende Erlebnisse und deren Bewertung in die Erfahrungen des Kindes ein, um bei Entscheidungen assoziativ berücksichtigt zu werden.

Nicht nur Priester, sondern auch Philosophen haben immer wieder versucht, den Sinn des Lebens auf soziales Verhalten und dieses wiederum auf logische Schemata zu gründen und in den Gehirnen der Staatsbürger zu verankern. Dabei sind großartige, allgemeingültige Formulierungen entstanden, wie der **Kantsche Kategorische Imperativ**. Der begründet aber nicht, warum man ihm auch dann folgen sollte, wenn man ihm aus Eigennutz zuwider handeln kann, ohne dass es jemand merkt. Dies ist dann eine Frage der *Ehre*. Aber was ist das nun wieder? Gibt es die überhaupt noch, oder ist die mit Preußen untergegangen. Die Kirchen haben es hier leichter, denn der liebe Gott sieht bekanntlich alles. Christliche Kirchen vermitteln Schemata, mit

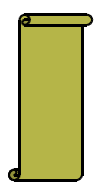
denen jenseits unseres Denkhorizonts das Jüngste Gericht über unser Verhalten nach dessen Konformität zum vorgeschriebenen Glauben urteilt.

Alternativen

Wer nach historischen oder persönlichen Katastrophen an nichts mehr glaubt, muss seinem Denken und Handeln selbst Ziele setzen und Erlebnisse schaffen, die für ihn persönlich einen hohen Wert besitzen. Eine optimierte Wertschöpfung gibt dem Leben Sinn. Das beantwortet die Frage nach dem Sinn des Lebens keineswegs vollständig, konzentriert sie aber auf die Spezifikation der Bewertung von Verhaltensweisen und dem dadurch Geschaffenen.

Es ist sicher vermessen, mit den bruchstückhaften Modellen, die einige Fähigkeiten des menschlichen Gehirns zu simulieren und deuten versucht haben, die uralte Frage nach dem Sinn des Lebens anzugehen. Ein Individuum empfindet sein Leben als erfüllt, wenn es mit seinen Erlebnissen aktuell und im Rückblick zufrieden ist. Damit wird der absolute, fast abstrakte Begriff *Sinn* zwar nur in die dunkle, weiche Welt der Empfindungen projiziert. Vielleicht aber ist es in Kapitel 5 gelungen, etwas Licht in die dunklen Quellgebiete der Empfindungen zu bringen, in denen nicht nur empfindliche Nervenenden und süße Triebe, sondern auch mitfühlende Agenten walten. Viele Menschen befriedigen ihre Empfindungen aus dem kleinen Quellgebiet unmittelbar vor ihrer Haustür. Andere wiederum weiten mit Hilfe ihrer Agenten ihren Empfindungshorizont bis zu den Menschen im fernen Afrika.

Der Sinn eines Industriebetriebes wird über die Wertmerkmale seiner Betriebsmittel und Produkte als Wertschöpfung quantifizierbar. Die Lebensqualität eines Menschen ergibt sich ohne Mystik aus individuell nach Abb.5.1 bewerteten Empfindungen und deren Dynamik.



Für einen Menschen, dessen Empfindungen aus einem für seine individuellen seelischen und geistigen Bedürfnisse hinreichend weiten Quellgebiet stammen, kann die Optimierung der **Lebensqualität** als **Sinn** des Lebens definiert werden.

So gesehen, muss ein Mensch nicht unbedingt Werte schöpfen, wenn ihm das keine Erfüllung bringt.

Bereits die **Liebe** zwischen Menschen kann ganz allein als Antwort auf die Frage nach dem Sinn des Lebens gelten. Der besteht dann darin, für Einander da zu sein und zu wirken. Daraus fließt gewiss ein großer Reichtum an Empfindungen. Wenn sehr viele Menschen an dieser allumfassenden Liebe mitwirken, sind die Quellgebiete der Empfindungen kaum noch überschaubar. Darum werde in einem Gedankenexperiment die Menge der Menschen dieser Welt radikal auf zwei begrenzt; beispielsweise auf Adam und Eva. Kann der Sinn des Lebens dieser beiden Menschen wirklich allein darin bestehen, das sie einander lieben; und noch dazu im Paradies?

Eva hat das jedenfalls nicht erreicht. Sie wollte unbedingt einen Apfel vom Baum der Erkenntnis naschen, obwohl das streng verboten war. Auch wenn sie deshalb aus einem Paradies vertrieben werden, fördern oft Menschen, wie Eva, die Lebensqualität einer Gemeinschaft besonders nachhaltig.

Der Sinn des Lebens könnte also in einer Maximierung der eigenen **Lebensqualität** liegen, was die stille Freude an selbstlosem Handeln und Pflichterfüllung durchaus einschließt. Menschen unterscheiden sich in dem zeitlichen und räumlichen Horizont, innerhalb dessen sie ihre Lebensqualität maximieren. Daher gibt es Menschen, die nicht an Morgen und nicht an Andere denken, sondern sorglos in den Tag hinein leben, um Spaß und Lust zu maximieren. Die meisten haben aber Freude daran, etwas Nachhaltiges zu schaffen, das sie betrachten und anfassen können. Für Andere ist nur sinnvoll, was dem Nächsten, der Gemeinde, dem Volk oder der ganzen Welt möglichst langfristig Nutzen bringt. Dazwischen gibt es vielfältig verkürzte Horizonte.

Es gibt Menschen, die den Genüssen und insbesondere jeder Art von Zeitvertreib im Alltag wenig abgewinnen können, sich aber mit Freude denkend und formulierend um das Verstehen unserer Welt und ihrer Gesetzmäßigkeiten bemühen. Die Meisten tun das, um das Leben in dieser Welt und seine Grundlagen ganz konkret zu verbessern, um Krankheiten und andere Gefährdungspotentiale zu analysieren und zu bekämpfen. Stämme ohne solche strebsamen Menschen sind im Zuge der Evolution von kreativeren Stämmen überrollt worden.

Politische Denker allerdings haben die Welt oft genug in Katastrophen geführt. Das liegt weniger daran, dass sie über die Strukturen unserer Gesellschaft nachgedacht haben, sondern vielmehr daran, dass sie die daraus gewonnenen Überzeugungen für einzig richtig hielten und rücksichtslos durchgesetzt haben. Auch ein demokratisches Wahlvolk erwartet von seinen Politikern, dass sie klar sagen, welchen Weg sie gehen wollen. Diese Forderung ist berechtigt. Aber es ist sehr bedauerlich, dass ein Redner seine Konzepte nicht gegen Alternativen abwägen, sondern nur Argumente bringen darf, die andere Denkweisen verdammen. Sonst könnten die Zuhörer meinen, der Redner glaube selbst nicht, was er sagt. Ein solcher apodiktischer Führungsstil gilt als populistisch, wird aber als qualifiziert und überzeugend empfunden. Daran sind nicht primär die Politiker schuld, sondern die, denen sie imponieren müssen.

Freiheit ist immer die Freiheit des Anderen. Diese Toleranz sollte Richtschnur allen politischen Denkens und Handelns sein. Es gibt vielerorts auf dieser Welt immer noch Politiker, die überzeugt sind, sie wüssten viel besser, was für die ach so einfältigen Menschen gut und förderlich ist, als die betroffenen Menschen selber. Auch, wenn sie da Recht haben würden, können sie doch nicht ausschließen, dass andere Politiker Konzepte anders bewerten und es noch besser wissen. Toleranz und Freiheit sind in unserem Wertesystem noch nicht hinreichend fest verankert. Daher ist

es sehr zu begrüßen, dass Joachim Gauck immer wieder auf der Basis eigenen Erlebens den Wert der Freiheit und die Bedrückung durch deren Mangel hervorhebt.

Würde und Ehre haben an Bedeutung verloren. Würde ist heute im Abendland ein Attribut, das jedem Menschen zusteht, unabhängig davon, ob er sich menschenwürdig verhält. Die Ehre ist in Verruf geraten, weil sie früher einmal Studenten und Junker gezwungen hat, Verstöße gegen überholte Verhaltensnormen mit der Waffe zu ahnden. Manche muslimischen Männer glauben bis heute, in ihrem Verantwortungsbereich einen solchen Ehrbegriff vertreten zu müssen.

Das **Streben** nach Erkenntnis und Verbesserung unserer Welt unterscheidet menschliches Wollen von dem der Tiere. Nach Goethe wird ein solches Streben im Himmel anerkannt und rechtfertigt sogar Irrwege, auf die es den Strebenden getrieben hat. Denn ein Engel sagt über Faust, während er ihn rettet:

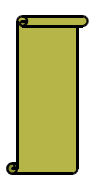
*Gerettet ist das edle Glied der Geisterwelt vom Bösen,
wer immer strebend sich bemüht, den können wir erlösen.*

Dieses Streben kann Selbstzweck sein. Ob solch nutzloses Streben auf Erden Anerkennung verdient, weiß der Teufel.

Abb.6.1: Gefühle repräsentieren Erlebnisse außerhalb unseres Wirkungsfeldes, die immer wieder Aufmerksamkeit fordern.

Verhalten ausschließlich durch aktuelle Erlebnisse und erworbene Erfahrungen bestimmt wird. In deren logischen Verknüpfungen berücksichtigt der probabilistische Automat TA Wahrscheinlichkeiten und Empfindungen. Die Existenz angeborener Reflexe und Instinkte, die durch bestimmte Wahrnehmungen ausgelöst werden, wurde nur kurz zur Kenntnis genommen. Akute Bedürfnisse bestimmter Organe, wie Hunger, Durst und Sexualtrieb, sind Erlebnisse, die ein spezifisches Suchverhalten zu ihrer Befriedigung auslösen. Dieses Suchverhalten kann instinktiv gesteuert sein und/oder auf erfolgreiche Erfahrungen zurückgreifen.

Unser Verhalten kann aber auch von Gefühlen dominiert werden, die nicht bestimmten Organen entsprungen sind. Hoffnung und Trauer beispielsweise passen nicht in die bisher geschilderten Strukturen. Ihre Entstehung ist bisher ebenso ungeklärt, wie ihr Einfluss auf unser Denken und Verhalten. Wer zu allgemeingültigen Aussagen kommen will, muss versuchen, die große Vielfalt der Gefühle auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen. Das Ergebnis kann nur eine Hypothese sein.



Gefühle⁸ repräsentieren stark bewertete Erlebnisse oder Metaerlebnisse, die zuvor unmittelbar erlebt oder realen Erlebnissen assoziiert worden sind, die momentan aber jenseits unseres Wirkungshorizonts liegen und daher vorerst hingenommen werden müssen.

Abb.6.1 versucht, die Gefühle jenseits des Wirkungshorizonts graphisch darzustellen, wobei links die positiven Gefühle erscheinen und rechts die negativen.

Es wurde festgestellt, dass die Suche nach auffälligen Wahrnehmungen immer wieder aktiviert wird, um zu prüfen, ob sich ein Feind oder eine Beute innerhalb des Wirkungshorizonts befindet. Analog dazu sei angenommen, dass gefühlsträchtige Erlebnisse ohne aktuellen Anlass von Zeit zu Zeit reaktiviert werden, wenn keine anderen wichtigen Aufgaben vorliegen. Dann untersucht das Gehirn zum Beispiel, ob es einen Weg von der gegenwärtigen Situation zu einem Angsterlebnis gibt, um zu prüfen, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Objekt der Angst als akute Bedrohung Realität werden könnte. Schon diese Suche kann ganz schön nerven. Da hilft eine Beschäftigungstherapie, die unserem Geist keine Zeit für derart lästige Gedankenspielerien lässt.

Die Sehnsucht nach einem lieben Menschen stellt uns immer mal wieder vor, seine Gegenwart sei real, und sucht nach einem Weg, diese Vorstellung zu verwirklichen. Auch wenn diese Suche erfolglos ist, bleibt oft ein positives Gefühl. Dieses Gefühl entgeht den Menschen, die sich ohne Grund in pausenlosen Aktionismus flüchten. Andererseits kann Sehnsucht auch frustrieren und traurig machen.

Nostalgie ist die Erinnerung an längst vergangene, Erlebnisse, die im Rückblick sogar dann ihre Reize haben können, wenn es ursprünglich mit negativen Empfindungen

⁸ Das Wort Gefühl wird hier in sehr spezieller Weise definiert.

verbunden war. Jetzt tut es ja nicht mehr weh! Bisweilen suchen wir ohne Rücksicht auf die Realitäten einen Weg zu einem unerreichbaren Ziel in der Zukunft und genießen das Glücksempfinden, das dieses Ziel verheißt. Oder wir schöpfen Glück aus der pragmatischen Erkenntnis, dass ein in die Zukunft projiziertes, verhängnisvolles Erlebnis aller Voraussicht nach nie eintreten kann. Weil man das von Tode nicht sagen kann, haben wir Angst vor diesem Erlebnis jenseits unseres Erfahrungshorizonts.

6.5 *Unser Lebenslauf* *Anfang und Ende*

Unsere Eltern und auch unsere Ahnen statten uns bei unserer Geburt mit Genen aus, die Baupläne für die *Hardware* von Gehirn und Organen spezifizieren. Gene erzeugen auch die *Basissoftware*, also die *Firmware* und das Betriebssystem zur Abwicklung von Lern- und Denkprozessen, sowie Reflexe und Instinkte zur Steuerung elementaren Verhaltens. Weitere Gene legen Voreinstellungen oder **Anfangswerte**, sogenannte *Defaultwerte*, für eine Vielfalt von Parametern fest.

Viele Parameter werden von den Genen weitgehend endgültig festgelegt. Sie ändern sich nur noch physiologisch, bedingt durch Alterung, hormonelle Zustandsänderungen oder Krankheit. Auch chemisch sind sie durch Medikamente oder Alkohol vorübergehend oder nachhaltig zu beeinflussen. Diese Parameter sind in keinen Optimierungskreislauf eingebunden und sind auch nicht von außen durch Training, Belehrung oder Vorbild zu verbessern.

Zu diesen festen Parametern gehören bei Menschen allem Anschein nach die **Bewertungen**, die den Empfindungen ihr Gewicht geben. Sie lassen sich durch Erziehung nicht beeinflussen. Daher kann niemand steuern, wie sich ein Mensch in Zukunft bei gegebenen Erlebnissen und Erfahrungen entscheiden und verhalten wird: ob er an neuen Erfahrungen interessiert ist und fleißig seine eigene und die Lebensqualität Anderer zu verbessern bemüht ist, oder ob er träge und faul ist. Wie intelligent ein Mensch ist, hängt von der Hardware und dem Betriebssystem seines Gehirns ab und ist ebenso-wenig gezielt zu verändern, wie die Farbe seiner Augen.

Erziehung kann jedoch - nicht zuletzt durch Vorbild - einen Erfahrungsschatz vermitteln, auf dem ein Kind ein erfülltes Leben aufbauen kann. Wenn in den erworbenen Erfahrungen Erlebnisse mit hinreichend starken Empfindungen enthalten sind, kann deren **Stärke** in vielen Fällen schwache Bewertungen ausgleichen. Solche Erfahrungen zu vermitteln, ist aller Mühe wert, denn dadurch lässt sich die Lebenstüchtigkeit eines jungen Menschen so nachhaltig steigern, dass er ein erfülltes Leben führen kann.

Bei dem Bemühen, einige Fähigkeiten des menschlichen Gehirns mit Hilfe von Trainierbaren Automaten rein logisch und funktional zu erklären, ist durchaus Raum für Empfindungen und Gefühle geblieben. Soweit erkennbar, funktioniert nichts mehr, sobald am Ende des Lebens die Trainierbaren Automaten in unserem Kopf ausfallen. Wir denken nichts mehr, wir empfinden nichts mehr und wir wollen nichts mehr. Was wäre daran so schlimm, nachdem das zähe Ringen mit dem Überlebenswillen und der physische Schmerz des Todes aufgehört haben?

Die Informationstechnik schreitet rüstig fort, und es lässt sich kaum vorhersagen, was in einigen Jahrzehnten möglich sein wird. Vielleicht lassen sich dann mit Hilfe von Sonden alle Erfahrungen aus unserem Gehirn herausholen und auf ein technisches System laden, dessen Hardware und Betriebssystem unser Gehirn simuliert oder, besser gesagt, emuliert. Dieses System denkt dann, wie wir, und kann sich unsere alten Erlebnisse so bewusst machen, als würde es die darin enthaltenen Handlungen und Wahrnehmungen selbst erfahren. Genau das aber kann dieses Mausoleums-System in Wirklichkeit nicht mehr: Es hat kein Wirkungsfeld, auf das es einwirken und das es wahrnehmen könnte. Es kann also nichts Neues erleben, kann sich aber frühere Erlebnisse mit lieben Menschen bewusst machen.

Unsere Lebenserfahrungen machen zusammen mit den unseren Genen spezifizierten Parametern unsere individuelle Persönlichkeit aus. Das ist reine Information, die wir als unsere Seele betrachten können. Es ist zwar reine Spekulation, aber auf keine Weise auszuschließen, dass diese Information fortlaufend oder bei unserem Ableben auf geheimnisvollem Wege auf ein noch geheimnisvolleres, transzendentes System übertragen wird, auf dem unsere Persönlichkeit weiter existiert. Es könnte auch sein, dass dieses transzendente System früher oder später ein Jüngstes Gericht abhält, unsere Erfahrungen prüft und bewertet, um uns daraufhin Wahrnehmungen zu vermitteln, die wir als Belohnung oder Strafe empfinden. Was wirklich geschieht, bleibt völlig offen:

Und der Himmel da oben, wie ist er so weit!

Der Autor Eike Mühlenfeld

Geboren am 3. März 1938 in Hannover. Verheiratet seit 1963, 2 Töchter.

Abitur am humanistischen Kaiser-Wilhelms-Gymnasium in Hannover 1956.

Diplom in Physik an der Universität Göttingen 1963.

Promotion zum Dr.-Ing. an der TH Hannover 1967.

Gruppe Messtechnik und Holographie: Institut für Schwingungsforschung, Tübingen.

Abteilung Datenverarbeitung,

Inst. f. Informationsverarbeitung in Technik & Biologie (FhG), Karlsruhe,

(Jetzt: Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildverarbeitung IOSB).

Univ.-Prof. Mess- und Automatisierungstechnik,

Inst. f. Elektr. Informationstechnik, TU Clausthal.

Mitbegründer der Firma Optromation, Ges. für optoelektronische Automation mbH, Goslar.

Adresse: Einersberger Blick 20, 38678 Clausthal-Zellerfeld; eike-mfd@t-online.de

Struktur grundlegender Begriffe

Trainierbarer Automat:= TA:= Theoretisches und experimentelles Gehirnmodell.

Training:= Selbstständiges Sammeln und Speichern von Erfahrungen. 9ff

Erfahrung:= Zusammenfassung von Fällen in der Datenstruktur eines Schemas. 27,41,52

Fall:= Kette von Erlebnissen, die ein Verhalten oder eine Situation beschreibt. 27,68

Erlebnis:= Organfunktion(Handlg **x**, Wahrnehmng **y**, **p(y)**, Empfindg **e**). 27,45,57,68

Handlung x:= Stelldaten der Motorik oder Sensormotorik. 61, 67

Wahrnehmung y:= Symbol einer Klasse ähnlicher Sensordaten. 61,67

Wahrscheinlichkeit p(y), dass **y** tatsächlich wahr ist. 54ff,88f

Empfindung e:= Wertmerkmale des Erlebnisses. 95,99f,110

Automat:= System mit internem Zustand zu diskretem Zeitpunkt t_n : 13

Zustand(t_n)= Kenntnisstand = Wahrscheinlichkeiten möglicher Fälle. 28,96

Überföhrungsfunktion: $\text{Zustand}(t_{n+1}) = f\{\text{Zustand}(t_n), \text{Eingang}(t_n)\}$, 59

Ausgabefunktion: $\text{Ausgabe}(t_n) = g\{\text{Zustand}(t_n), \text{Eingang}(t_n)\}$ 59

Schema: = Hierarchische Struktur von Erlebnissen in Form eines Baumes. 31,41f

Terminale Erlebnisse werden unmittelbar aus Stell- und Messdaten erzeugt. 31

Nichtterminale oder **Meta**-Erlebnisse fassen Zweige eines Schemas zusammen. 31,118

Index weiterer Begriffe

Anerkennung	114	Hoffnung	101	Priorität	85
Angst	101	Holographie	80	probabilistisch	55ff
ästhetisch	101	Horizont	71,103	Problemlösen	69,72
Agent	69ff,110,118	Ideologien	91	Rechnen	43f
Adaption	48,92	Informationskompression	92	Reflex	57
Analogieschluss	21,33ff	Intelligenz	78f	Regel	19,68
Assimilation	48,92	Kant	120	Regelung	90
Assoziation	69,73f	Kettung	72	Risiko	70,90,92
Auffälligkeit	60ff	Klammer, logisch	30	Rückkopplung	25
Aussagenlogik	19	Klasse	58	Schadenfreude	111
Automatisierungstechnik	13	Kognition	44ff	Seele	100
Belehrung	65ff,73	konservativ	91	Semantische Relation	32f
Betriebssystem	17,79	Kreativität	77	Sprache	16
Bewertung	88f,96ff	Kunst	83	Situation	68
Bewusstsein	78ff,84f	Kurzzeitgedächtnis	62	Statistische Relation	21
Denkebenen	81	Langzeitoptimierung	108	Stichproben	94
Diagnose	44f	Lebensqualität	70f,106,120f	Suchstrategien	90
Empathie	110	Lernen	16,24	Symbol	60,66
Erfahrungslücken	73	Liebe	112f,121	Syntax	55f
Erinnerung	83	Logik	19f	theoretisches Wissen	82f
Erkennen	15	Mitleid	110	Therapie	49f
Erwartung	59	Modell	74	Träumen	77
Erwartungswert	69,88f,92ff	Motivation	101	Überföhrungsfunktion	59
Ethik	100,114	Nachahmung	73	Überlegung	80ff
Evolution	91f	Nächstenliebe	114	UND	20
Experte	20,53f	Neuronale Netze	79	Verhalten	70
Fallwahrscheinlichkeiten	59	NICHT	31	Vertrauen	111
Fovea	61	Neid	111	Vorhersage	30,70,76
Geföhle	120,124f	Nutzen	88f	Vormachen	63ff
Gespräch	67	ODER	20	Vorurteil	110
Gewissen	70f,114,119	Organ	70	Wertmerkmal	88f,95
Gossensche Gesetze	127	Parallelverarbeitung	77	Willensfreiheit	101
Gradientenverfahren	90	Parsen	37	Würde	112
Grammatik	21,39ff	Partner	36	zeitvariant	50
Grounding	25	phänomenologisch	82	Zuhören	66
Hass	111	Planung	18,103		
Hierarchie	30,68	Prädikat	36		

Literatur

- i Eugen-Maria Schulak: Veröffentlicht in der Schriftenreihe der Österreichischen Gesellschaft für organismisch-systemische Forschung und Theorie (im Druck)
- ii Kesselring, Thomas: *Jean Piaget*. Verlag C.H. Beck, München 1999
- iii Seelen, Werner von: Mutmaßungen über das Denken. Inst. f. Neuroinformatik d. Univ. Bochum, 2011.
- iv Ritter, H., Martinetz, T., Schulten, K.: *Neuronale Netze*. Addison-Wesley 1990.
- v Keller, Hubert, B.: *Maschinelle Intelligenz*. Vieweg 2000.
- vi Franklin, Stan: *Artificial Minds*. MIT Press 1995.
- vii Seelen, Werner von: Informationsverarbeitung in Neuronaler Architektur.
In: *Informatikforschung in Deutschland*. Springer 2008.S. 198-202.
- viii Neisser, Ulric: *Kognition und Wirklichkeit. Prinzipien und Implikationen der kognitiven Psychologie*. Klett-Kotta 1979.
- ix Thimm, Mathias: Probabilistic Reasoning with Incomplete and Inconsistent Beliefs,
DISKI 336, Akad.Verlags Ges. AKA 2011.
- x Dobelli, Rolf: *Die Kunst des klaren Denkens*. Hanser 2011.
- xi Enk, Stefan: Das Trainierbare Expertensystem zur Führung komplexer Prozesse. Fortschr.-Ber.VDI 8/996, 2003.
- xii Grolle, Johann: Baustoff der Gedanken, Spiegel Special 4/2003, S. 26-29.
- xiii Mühlenfeld, Eike: Ein holographischer Assoziativspeicher für unformatierte Daten.
Elektron. Rechenanlagen 1976, S. 224-228.
- xiv Gauck, Joachim: Winter im Sommer – Frühling im Herbst; Erinnerungen. Pantheon 2011. S. 339.
- xv Mühlenfeld, Hans: Politik ohne Wunschbilder; Die konservative Aufgabe unserer Zeit. Oldenbourg 1952.
- xvi Lafontaine, Oskar: Politik für Alle; Streitschrift für eine gerechte Gesellschaft. Econ 2005.
- xvii Dietz, Peter: Menschengleiche Maschinen – Wahn und Wirklichkeit der künstl. Intelligenz. Bühler&Heckel 2003.
- xviii Sarrazin, Tilo: *Deutschland schafft sich ab*. Deutsch Verlags-Anstalt 2010.
- xix Kahnemann, Daniel: *Schnelles Denken, langsames Denken*. Siedler Verlag 2012.
- xx Frevert, Ute: Pflicht. In *Deutsche Erinnerungsorte* II, C.H.Beck-Verlag 2001, S.269ff.
- xxi Gossen, Hermann Heinrich: *Entwicklung der Gesetze des menschlichen Verkehrs, und der daraus fließenden Regeln für menschliches Handeln*, Braunschweig (1854):